

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: **Розробка системи електропостачання сільського населеного пункту**

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи ЕТз-41
спеціальності 141

Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

	<u>Олексійчук Ю.Ю.</u> (прізвище та ініціали)
Керівник	<u>Сисак І.М.</u> (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	<u>Мовчан Л.Т.</u> (прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	<u>Коваль В.П.</u> (прізвище та ініціали)
Рецензент	<u></u> (прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра Електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Коваль В.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«__» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

студенту Олексійчук Юрій Юрійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка системи електропостачання сільського населеного пункту

Керівник роботи Сисак Іван Михайлович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «04» травня 2026 року № 4/9-214

2. Термін подання студентом завершеної роботи червень 2026 року

3. Вихідні дані до роботи Відомості про електричні навантаження

План

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналітичний розділ

2. Проектно-конструкторський розділ

3. Розрахунковий розділ

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Презентація

2.

3.

4.

5.

6.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	Гурик О.Я., к.т.н., доцент кафедри МТ		
Нормоконтроль	Мовчан Л.Т., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ		
2	Аналітичний розділ		
3	Проектно-конструкторський розділ		
4	Розрахунковий розділ		
5	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці		
6	Загальні висновки		
7	Оформлення пояснювальної записки		
8	Оформлення графічної частини		

Студент _____
(підпис)

Олексійчук Ю.Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Сисак І.М.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕТз–41. - Т. : ТНТУ, 2026.

Стор. 60; рис. 16; табл. 6; креслень -; джерел 22; додатків 0.

Робота бакалавра виконана згідно завдання на тему: «Розробка системи електропостачання сільського населеного пункту».

Метою розробки системи електропостачання сільського населеного пункту є забезпечення надійного, безпечного та економічно обґрунтованого електропостачання всіх споживачів (житлових будинків, об'єктів соціальної інфраструктури, сільськогосподарських підприємств), шляхом вибору оптимальної схеми електромережі, розрахунку електричних навантажень, підбору обладнання (трансформаторів, ліній електропередач, розподільчих пристроїв) та впровадження сучасних технічних рішень з урахуванням вимог надійності, енергоефективності та перспектив розвитку населеного пункту.

Обґрунтовано вибір кільцевої схеми електропостачання з двостороннім живленням та застосуванням двотрансформаторної підстанції. Визначено значення розрахункових потужностей для денного та вечірнього максимумів. Проведено техніко-економічне порівняння варіантів встановлення силових трансформаторів. Виконано розрахунок і вибір розподільчих електромереж. Виконано розрахунок струмів короткого замикання для характерних точок електричної мережі на основі складеної розрахункової схеми та відповідної схеми заміщення. У результаті виконаного розрахунку та вибору релейного захисту силового трансформатора встановлено, що прийнятий комплекс захистів повністю забезпечує виявлення та селективне відключення всіх можливих аварійних і ненормальних режимів роботи.

Ключові слова: сільський населений пункт, центр електричних навантажень, споживачі.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	9
1.1 Класифікація споживачів електричної енергії по надійності електропостачання.....	12
1.2 Схеми електропостачання.....	16
1.3. Вибір силових трансформаторів.....	20
1.4 Розрахунок центру електричних навантажень.....	23
1.5.Постановка завдань.....	25
2 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ	26
2.1 Характеристика споживачів електричної енергії та визначення категорії по надійності електропостачання для житлового масиву....	26
2.2 Вибір та обґрунтування схеми електропостачання житлового масиву.....	26
2.3 Відомість споживачів електричної енергії житлового масиву.....	26
2.4 Розрахунок електричних навантажень житлового масиву.....	27
2.5 Вибір числа та потужності силових трансформаторів житлового масиву.....	29
2.6 Розробка конструкції КТП.....	31
2.7 Розрахунок і вибір розподільчої електромережі.....	34
2.8 Висновки до Розділу 2.....	38
3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	39
3.1 Розрахунок струмів КЗ.....	39
3.2 Висновки до Розділу 3.....	45
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	48
4.1 Вимоги до організації безпечної експлуатації електроустановок у сільській місцевості.....	48
4.2 Засоби індивідуального та колективного захисту під час	

обслуговування електромереж.....	49
4.3 Правила надання першої допомоги при ураженні електричним струмом.....	51
4.4 Вимоги до евакуації персоналу та населення у разі надзвичайних ситуацій.....	52
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	54
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	57
ДОДАТКИ.....	1
Додаток А. Основні параметри КТП.....	2
Додаток Б. Вибір електрообладнання КТП та перевірка на стійкість до дії струмів КЗ.....	4
Додаток В. Розрахунок та вибір електричної мережі живлення.....	11
Додаток Г. Вибір та розрахунок РЗ силового трансформатора.....	13
Додаток Д. Розробка схеми керування захисту, сигналізації і автоматики.....	17
Додаток Е. Вибір елементів схеми РЗА.....	19

ВСТУП

Актуальність теми. Актуальність розробки системи електропостачання сільського населеного пункту обумовлена сучасними викликами в енергетичній галузі, зокрема зростанням споживання електричної енергії, необхідністю підвищення якості електропостачання та забезпечення безперебійної роботи електроустановок споживачів. Сільські електричні мережі в багатьох випадках будувалися десятки років тому і сьогодні характеризуються високим ступенем фізичного та морального зносу, недостатньою пропускну здатністю та невідповідністю сучасним стандартам якості електроенергії. Це призводить до великих втрат електричної енергії, падіння напруги, частих аварійних відключень та обмеження розвитку місцевої інфраструктури.

Особливого значення набуває питання забезпечення надійності електропостачання в умовах зростання кількості електроприймачів у побуті (електроопалення, електроплити, системи кондиціонування, зарядні станції для електротранспорту) та у сільському господарстві (електродвигуни, насосні установки, системи автоматизації). Нерівномірність навантаження, сезонні пікові режими та значна протяжність ліній електропередач у сільській місцевості ускладнюють ефективне функціонування електричних мереж і потребують ретельного проєктування.

Крім того, в умовах енергетичних викликів та пошкодження інфраструктури особливо актуальним є підвищення стійкості та живучості систем електропостачання. Це передбачає впровадження резервування, застосування сучасних засобів захисту та автоматизації, використання децентралізованих джерел енергії, зокрема сонячних електростанцій, вітрових установок та систем накопичення енергії. Такі рішення сприяють підвищенню енергетичної незалежності сільських територій та зменшенню навантаження на централізовані мережі.

Важливим аспектом є також забезпечення енергоефективності та зниження технічних і комерційних втрат електроенергії. Раціональний вибір схем електропостачання, оптимізація перерізів провідників, застосування енергоощадного обладнання та сучасних систем обліку електроенергії дозволяють суттєво підвищити ефективність функціонування мереж.

Таким чином, розробка сучасної, надійної та економічно обґрунтованої системи електропостачання сільського населеного пункту є надзвичайно актуальним завданням, яке спрямоване на підвищення якості життя населення, забезпечення стабільної роботи аграрного сектору та створення передумов для сталого розвитку сільських територій.

Тому, розробка системи електропостачання сільського населеного пункту є актуальною задачею.

Мета кваліфікаційної роботи. Метою розробки системи електропостачання сільського населеного пункту є забезпечення надійного, безпечного та економічно обґрунтованого електропостачання всіх споживачів (житлових будинків, об'єктів соціальної інфраструктури, сільськогосподарських підприємств), шляхом вибору оптимальної схеми електромережі, розрахунку електричних навантажень, підбору обладнання (трансформаторів, ліній електропередач, розподільчих пристроїв) та впровадження сучасних технічних рішень з урахуванням вимог надійності, енергоефективності та перспектив розвитку населеного пункту.

Завдання:

1. виконати характеристику споживачів електричної енергії та визначити категорію надійності електропостачання;
2. обґрунтувати вибір схеми електропостачання та конфігурації мережі;
3. здійснити розрахунок електричних навантажень для денного та вечірнього максимумів;
4. вибрати кількість та потужність силових трансформаторів підстанції на основі техніко-економічного порівняння варіантів;

5. виконати розрахунок і вибір розподільчих електромереж та кабелів живлення з урахуванням умов нагріву, економічності та стійкості до струмів короткого замикання;
6. визначити струми короткого замикання у характерних точках мережі;
7. здійснити вибір електрообладнання комплектної трансформаторної підстанції та перевірити його на термічну і електродинамічну стійкість;
8. розрахувати та вибрати систему релейного захисту силового трансформатора;
9. розробити схему керування, захисту, сигналізації та автоматики;
10. забезпечити відповідність проектних рішень вимогам нормативних документів та умовам безпечної експлуатації.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

АТ «Хмельницькобленерго» — це регіональна енергопостачальна компанія, що здійснює розподіл електричної енергії на території Хмельницької області України [1]. Підприємство належить до системи операторів розподілу електроенергії та забезпечує передачу електроенергії від магістральних мереж до кінцевих споживачів — населення, промислових підприємств, установ і організацій.

Основною діяльністю компанії є експлуатація, технічне обслуговування та розвиток електричних мереж напругою 0,4–110 кВ. До складу АТ «Хмельницькобленерго» входять районні електричні мережі (РЕМ), підстанції, кабельні та повітряні лінії електропередачі, які забезпечують надійне та безперервне електропостачання споживачів.

Компанія виконує важливі функції в енергетичній системі регіону, зокрема:

- забезпечує якісне та безпечне постачання електроенергії;
- здійснює приєднання нових споживачів до електричних мереж;
- проводить облік електроенергії та контроль за її використанням;
- впроваджує сучасні технології автоматизації та диспетчеризації;
- виконує ремонтні та інвестиційні програми для модернізації мереж.

У своїй діяльності АТ «Хмельницькобленерго» керується законодавством України, зокрема вимогами ринку електричної енергії, а також нормативними документами у сфері енергетики. Компанія є важливою складовою енергетичної інфраструктури регіону, оскільки від її стабільної роботи залежить функціонування економіки та комфортне життя населення.

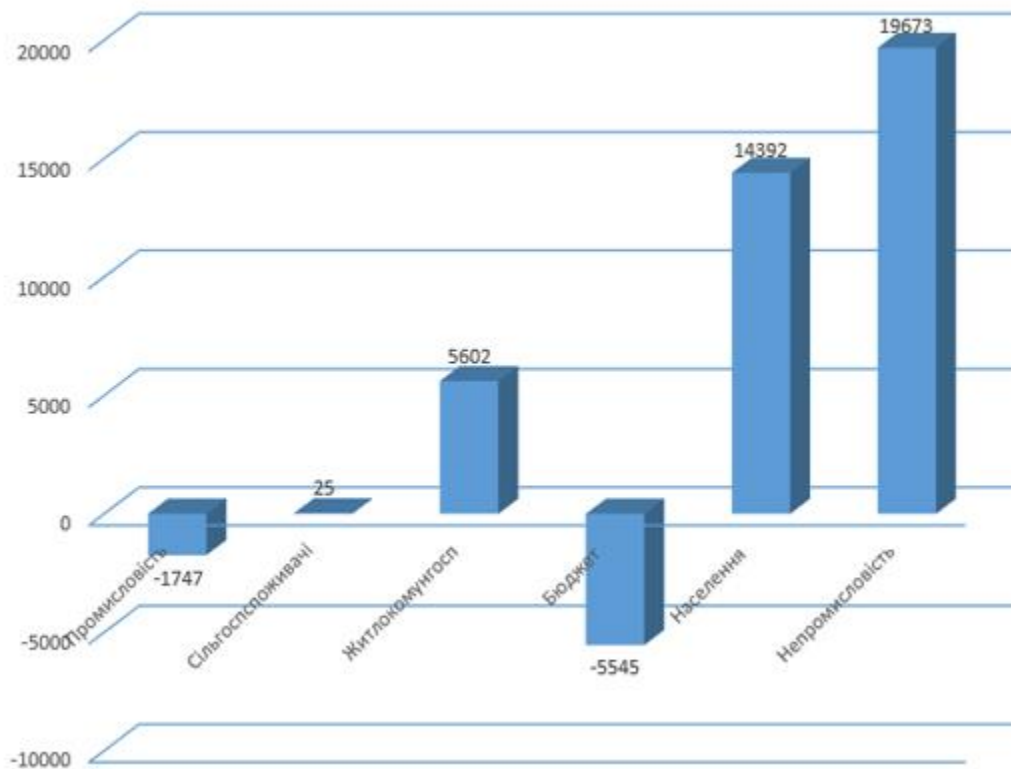


Рисунок 1.1 - Приріст заборгованості у 2025 році в розрізі галузей (тис. грн.)

Таблиця 1.1 - Структура споживання електроенергії галузями області з початку року (з врахуванням транзиту, рознесеного по галузях господарювання)

№ п/п	Галузі	Відпущено електроенергії		Приріст/Зниження	
		2024	2025		
		тис. кВт·год	тис. кВт·год	тис. кВт·год	%
	Всього по АТ "Хмельницькобленерго"	2155867,0	2176272,0	20405,0	0.95%
1	Промисловість	674057,0	693699,0	19642,0	2.91%
2	Сільгоспспоживачі	80860,0	93195,0	12335,0	15.25%
3	Житлокомунгосп	133690,0	130012,0	-3678,0	-2.75%
4	Бюджет	135193,0	141002,0	5809,0	4.30%
5	Населення	887488,0	868583,0	-18905,0	-2.13%
6	Непромисловість	244578,0	249781,0	5203,0	2.13%

Таблиця 1.2 - Основні техніко-економічні показники за 2015-2020 роки

Показники	2025	2024	2023	2022	2021	2020
Корисний відпуск електроенергії /млн.кВт·год/	2 176.267	2 155.867	2 084.834	2 120.791	2 126.603	2 066.985
Товарна продукція /тис.грн./	2 436 490,0	1 896 644,0	1 362 252,0	1 056 442,0	969 453,0	901 793,0
Чистий дохід від реалізації продукції /тис.грн./	2 458 723,0	1 928 673,0	1 388 838,0	1 100 836,0	1 000 927,0	931 082,0
Собівартість реалізованої продукції /тис.грн./	2 348 641,0,0	1 945 759,0	1 277 989,0	1 040 973,0	890 503,0	843 470,0
Чистий прибуток /тис.грн./	43 631	8 513,0	38 754,0	25 922,0	48 741,0	30 718,0
Власний капітал /тис.грн./	1 842 669,0	1 310 291,0	1 238 963,0	724 257,0	708 790,0	417 534,0
Активи /тис.грн./	2 396 565,0	1 744 264,0	1 551 103,0	878 358,0	899 351,0	543 964,0
Дебіторська заборгованість /тис.грн./	192 380,0	183 710,0	156 331,0	54 512,0	55 675,0	36 396,0
Поточні зобов'язання /тис.грн./	313 621,0	281 850,0	175 827,0	107 786,0	128 210,0	100 439,0
Середньооблікова чисельність працюючих /чол./	3 472,0	3 554,0	3 558,0	3 559,0	3 517,0	3 494,0
Середньомісячна заробітна плата одного працюючого /грн./	7605.9	6 591.1	4 703.79	4 110.6	3 950.3	3 433.8
Статутний фонд /тис.грн./	33 638,0					
Номінальна вартість акції /грн./	0.25					
Кількість акцій у статутному фонді /шт./	134 551 360,0					

1.1 Класифікація споживачів електричної енергії по надійності електропостачання

Споживачі електричної енергії за надійністю електропостачання класифікуються відповідно до вимог ПУЕ [2] на три основні категорії: I, II та III [3-7]. Такий поділ має важливе значення при проектуванні систем електропостачання, оскільки саме від категорії надійності залежить вибір схеми живлення, кількість незалежних джерел електроенергії, необхідність резервування, а також допустимий час перерви в електропостачанні.

До споживачів I категорії належать найбільш відповідальні електроприймачі, перерва в електропостачанні яких може спричинити серйозні наслідки. Це, зокрема, загроза життю або здоров'ю людей, порушення безпеки держави, значні матеріальні збитки або вихід з ладу складних технологічних процесів, відновлення яких є тривалим і дорогавартісним. Такі споживачі потребують безперервного електропостачання, тому для них обов'язково передбачається живлення від двох незалежних джерел електроенергії. Крім того, у більшості випадків застосовується автоматичне введення резерву, що дозволяє практично миттєво переключити живлення у разі аварії на основному джерелі. Для окремої групи споживачів I категорії, які називають особливою групою, може додатково передбачатися третє незалежне джерело живлення, наприклад дизель-генератор або акумуляторні установки. До таких споживачів належать операційні відділення лікарень, системи протипожежного захисту, аварійне освітлення, диспетчерські центри, об'єкти зв'язку та інші критично важливі системи [3, 6].

На рисунку 1.2 та рисунку 1.3 показано підключення споживачів I категорії [3, 8].

І категорія без перерви електропостачання і збою технологічного процесу

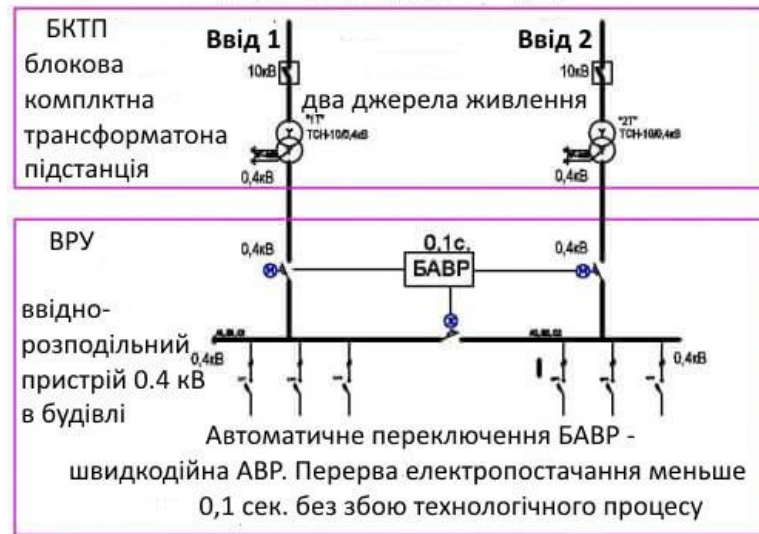


Рисунок 1.2 – Підключення споживачів І категорії.

І особлива категорія електропостачання

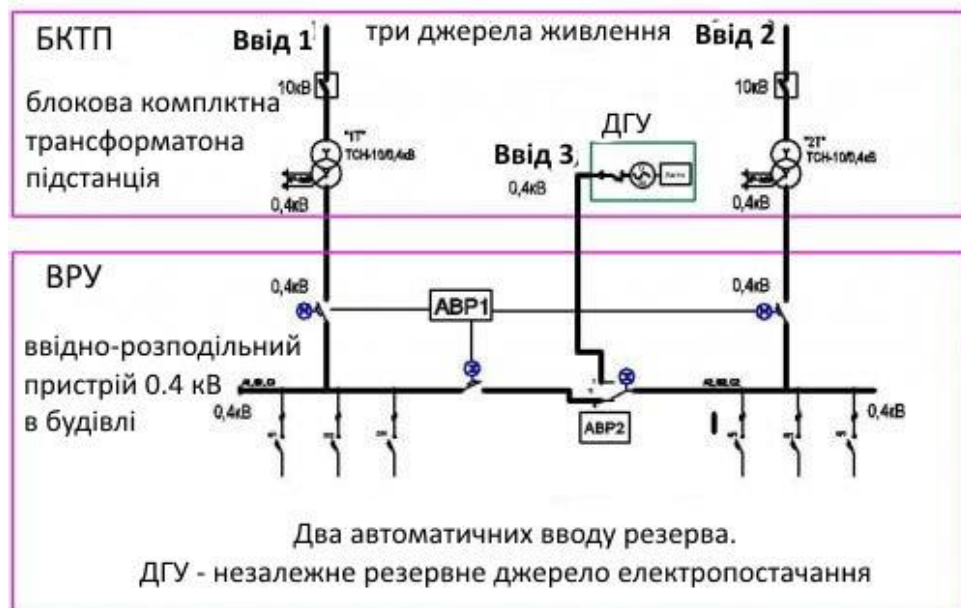


Рисунок 1.3 – Підключення споживачів І категорії (особлива категорія).

Споживачі II категорії займають проміжне положення між першою та третьою категоріями. Перерва в їх електропостачанні не призводить до безпосередньої загрози життю людей, однак може викликати значні економічні втрати, пов'язані з простоєм виробництва, недовипуском продукції, порушенням нормальної діяльності підприємств або установ. Для таких споживачів також передбачається живлення від двох незалежних джерел електроенергії, проте вимоги до безперервності менш жорсткі. Допускається перерва в електропостачанні на час, необхідний для переключення на резервне джерело, яке може здійснюватися як автоматично, так і вручну оперативним персоналом. До цієї категорії зазвичай відносяться промислові підприємства середньої важливості, великі адміністративні будівлі, торгові центри, а також об'єкти, де тимчасове припинення електропостачання призводить до суттєвих, але не критичних наслідків [3, 6].

На рисунку 1.4 показано підключення споживачів II категорії [3, 8].

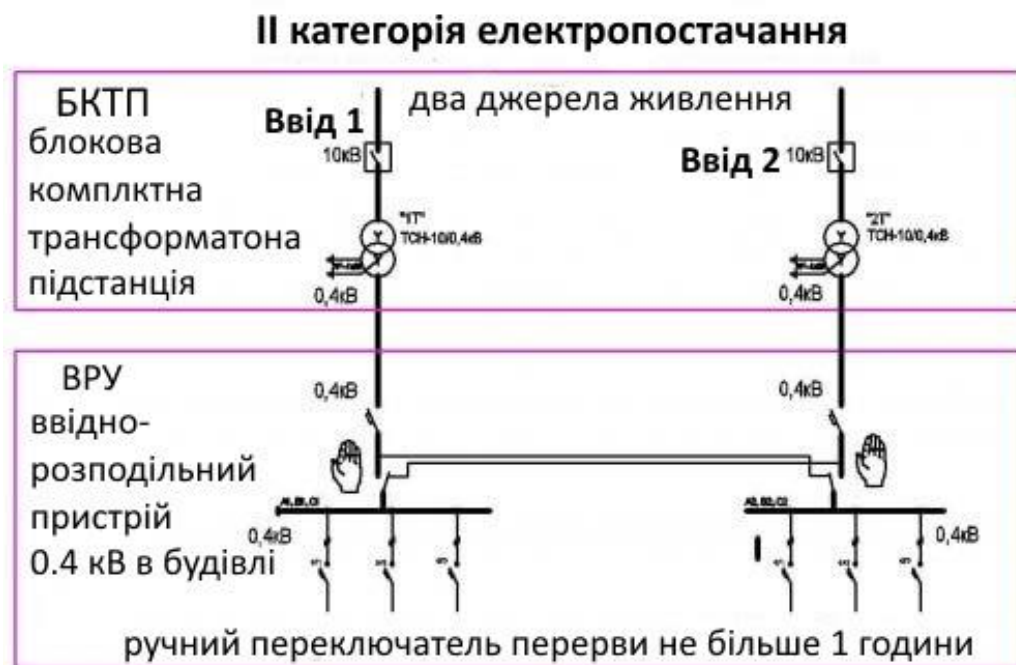


Рисунок 1.4 – Підключення споживачів II категорії.

Споживачі III категорії є найменш вимогливими до надійності електропостачання. Перерва в подачі електроенергії для них не викликає значних негативних наслідків, а можливі збитки зазвичай є незначними. У зв'язку з цим для таких споживачів допускається живлення від одного джерела електроенергії без резервування. У разі аварії або пошкодження мережі перерва в електропостачанні може тривати до 24 годин, що пов'язано з часом, необхідним для проведення ремонтно-відновлювальних робіт. До споживачів III категорії належать житлові будинки, невеликі підприємства, офіси, заклади громадського харчування невеликої потужності та інші об'єкти, для яких відсутність електроенергії протягом певного часу не є критичною [3, 6].

На рисунку 1.5 показано підключення споживачів III категорії [3, 8].

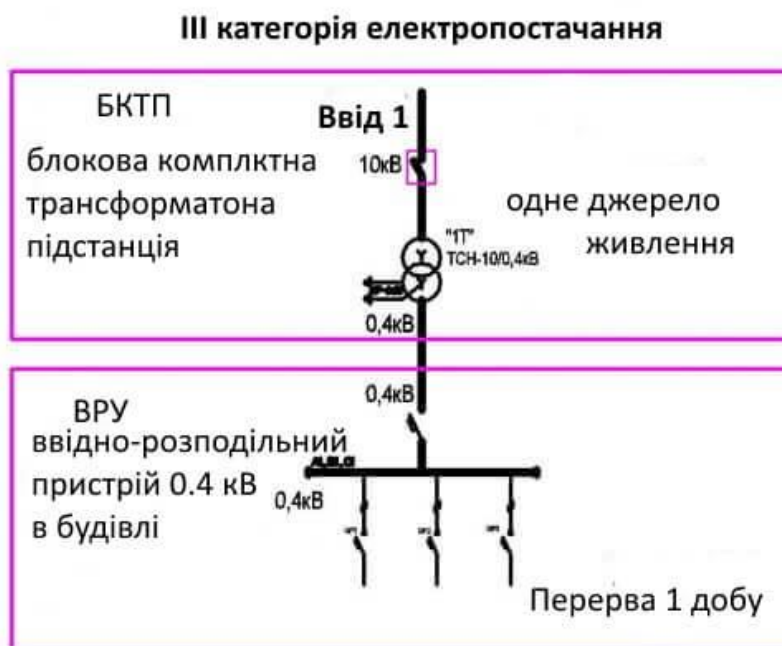


Рисунок 1.5 – Підключення споживачів III категорії.

Таким чином, поділ споживачів за категоріями надійності електропостачання дозволяє раціонально підходити до проектування електричних мереж, забезпечуючи необхідний рівень безпеки та економічності

доцільності. Чим вища категорія споживача, тим жорсткіші вимоги до безперервності електропостачання та тим складніша і дорожча система живлення повинна бути реалізована. У той же час для менш відповідальних споживачів застосовуються більш прості та економічні рішення, що дозволяє оптимізувати витрати на будівництво та експлуатацію електроустановок.

1.2 Схеми електропостачання

Схема електропостачання є однією з ключових складових проектування будь-якого об'єкта, оскільки саме вона визначає структуру подачі електричної енергії від джерела до споживачів, рівень надійності, зручність експлуатації та економічність всієї системи. Вибір схеми електропостачання здійснюється з урахуванням категорії надійності споживачів, їх потужності, територіального розміщення, а також вимог нормативного документа ПУЕ [2].

Існує кілька основних схем електропостачання, які застосовуються в практиці: радіальна, магістральна, кільцева та змішана [3, 6].

Радіальна схема електропостачання є найпростішою та найпоширенішою. У такій схемі кожен споживач або група споживачів живиться окремою лінією безпосередньо від джерела живлення (наприклад, трансформаторної підстанції або розподільчого пункту). Основною перевагою радіальної схеми є її простота, зручність експлуатації та висока локалізація аварій: у разі пошкодження відключається лише одна лінія, не впливаючи на інші споживачі. Однак недоліком є відсутність резервування — при пошкодженні лінії споживач повністю втрачає живлення. Тому така схема найчастіше застосовується для споживачів III категорії надійності або невеликих об'єктів, таких як кафе, офіси чи житлові будинки [3, 6].

На рисунку 1.6 показана радіальна схема електропостачання [3, 6].

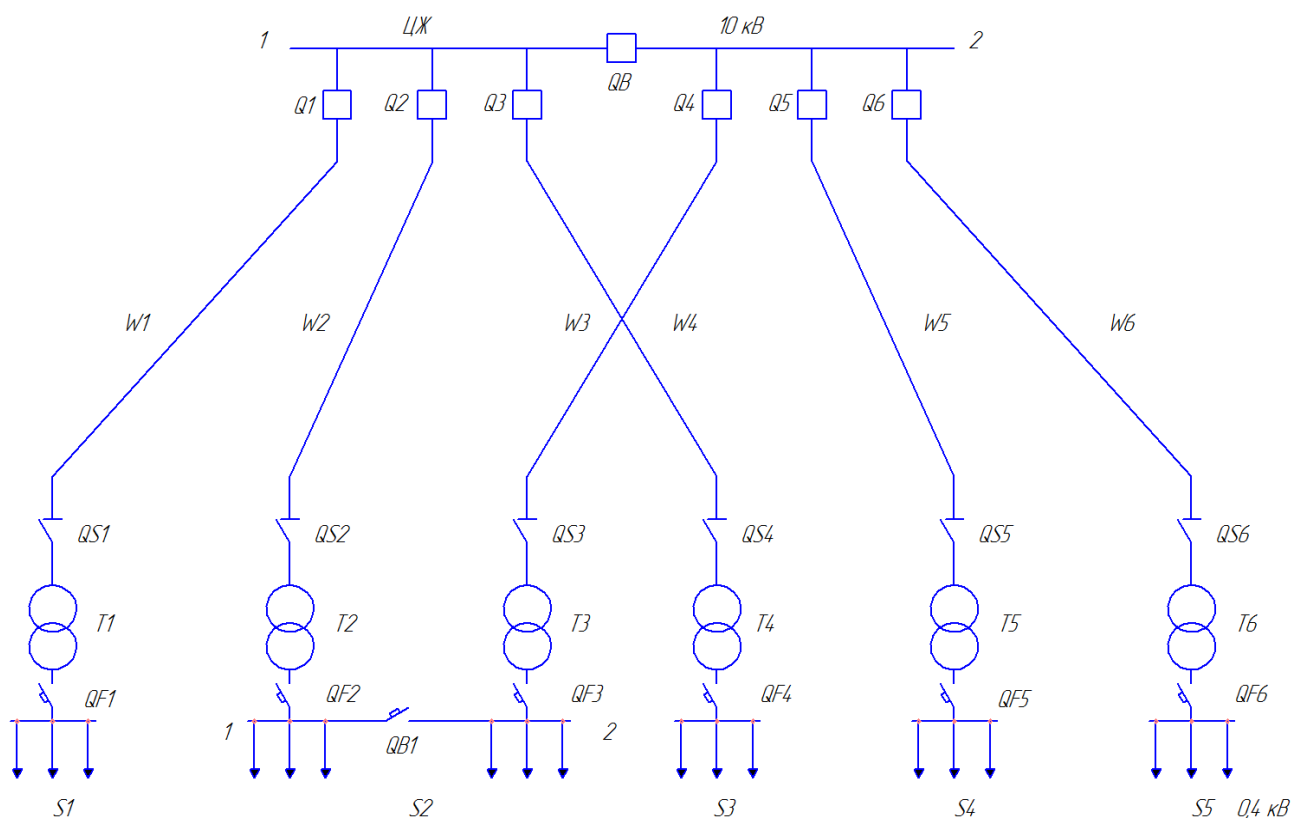


Рисунок 1.6 - Радіальна схема електропостачання

Магістральна схема передбачає живлення декількох споживачів від однієї спільної лінії (магістралі), до якої вони підключаються послідовно. Така схема є більш економічною порівняно з радіальною, оскільки потребує менших витрат кабельної продукції та обладнання. Вона широко застосовується в промислових підприємствах і будівлях з компактним розташуванням навантажень. Проте її суттєвим недоліком є нижча надійність: пошкодження магістралі може призвести до відключення значної кількості споживачів. Тому магістральна схема використовується переважно для споживачів II або III категорії, де допускаються певні перерви в електропостачанні [3, 6].

На рисунку 1.7 показана магістральна схема електропостачання [3, 6].

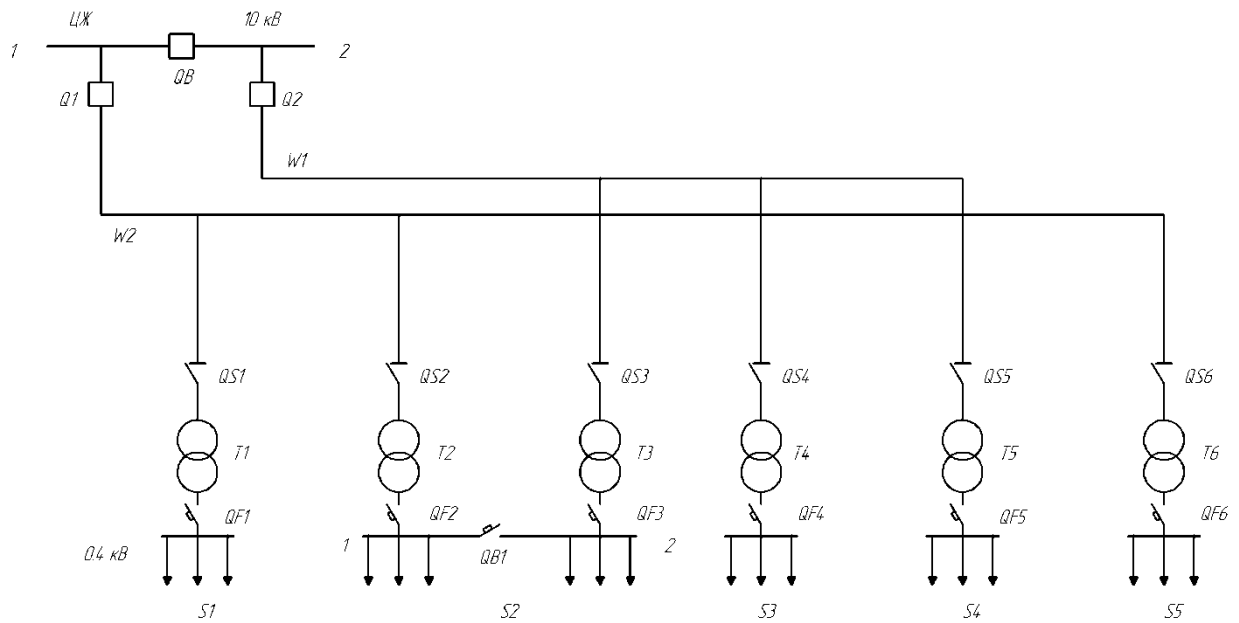


Рисунок 1.7 - Магістральна схема електропостачання

Кільцева схема електропостачання характеризується тим, що споживачі підключаються до замкненого контуру (кільця), який живиться з двох або більше джерел. У нормальному режимі одна з ділянок кільця може бути розімкнена, але у разі аварії живлення може бути подано з іншого боку. Основною перевагою такої схеми є підвищена надійність, оскільки у разі пошкодження однієї ділянки мережі споживачі можуть отримувати електроенергію альтернативним шляхом. Недоліками є більша складність реалізації, необхідність застосування більш дорогого обладнання та складніші режими керування. Кільцеві схеми широко використовуються для споживачів I та II категорій, а також у міських розподільчих мережах [3, 6].

На рисунку 1.8 показана кільцева схема електропостачання [3, 6].

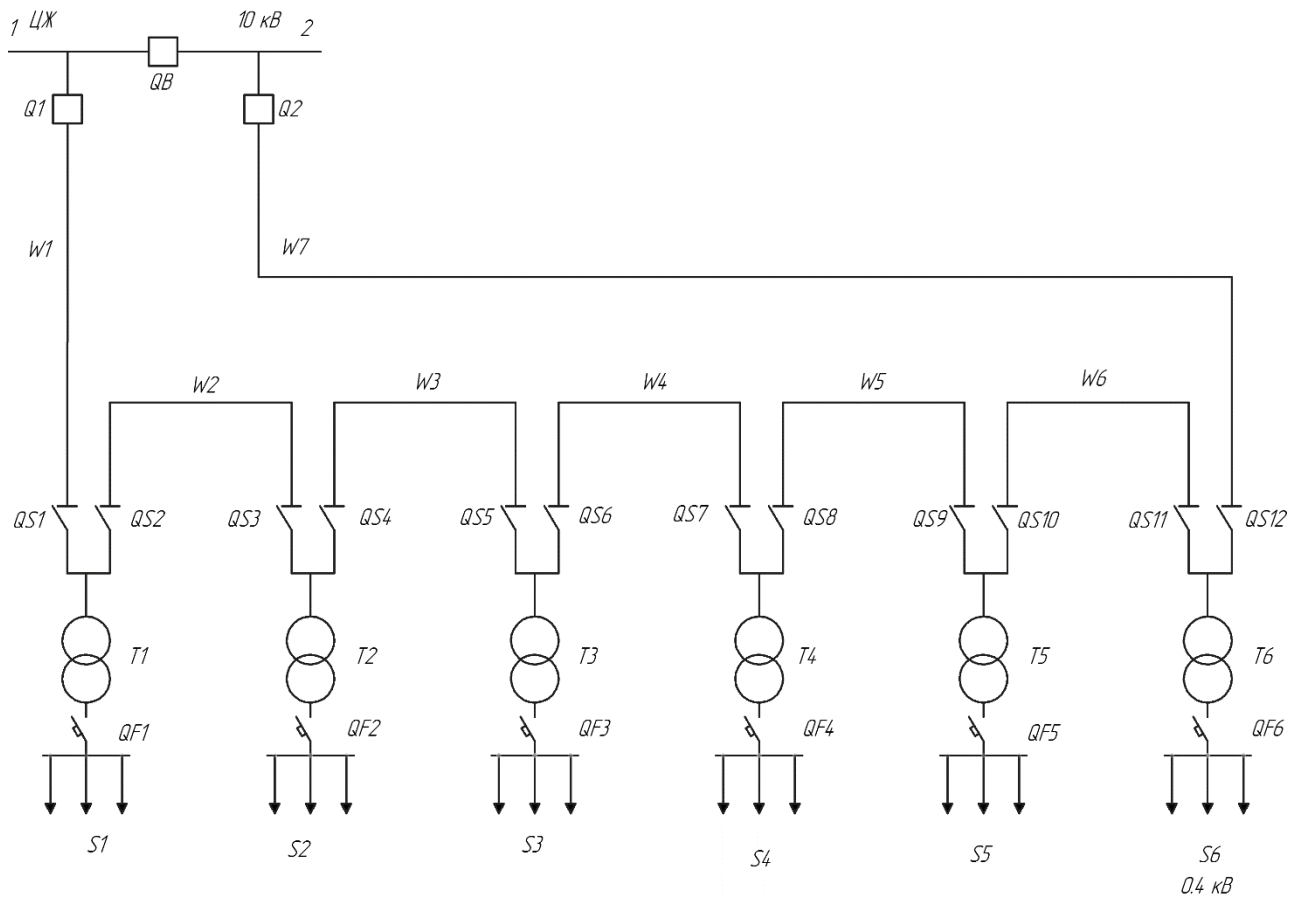
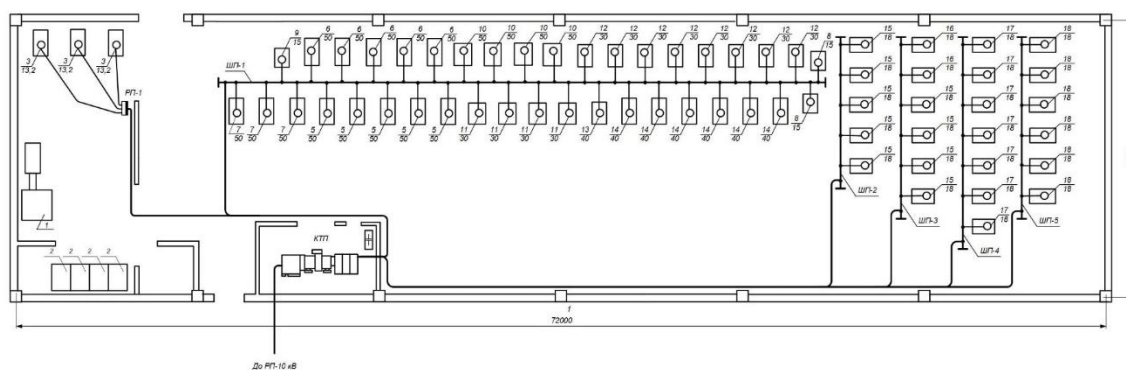


Рисунок 1.8 - Кільцева схема електропостачання

Змішана схема електропостачання поєднує елементи радіальної, магістральної та кільцевої схем, що дозволяє досягти оптимального співвідношення між надійністю та економічністю. Наприклад, основні відповідальні споживачі можуть житися за кільцевою або радіальною схемою з резервуванням, тоді як менш відповідальні — за магістральною схемою. Такий підхід є найбільш гнучким і широко застосовується при проектуванні складних об'єктів, таких як промислові підприємства, торгово-розважальні комплекси або великі громадські будівлі [3].

На рисунку 1.9 показана змішана схема електропостачання [3].



До РП-10 вБ

Лин. / Поз.	Найменування	К-ть	Примітка
1	Линію для майбут.	3	
2	Вагони гідрокопальні	4	
3	Машина дробоскопична ВМ-13	2	
4	Волокнисті стани ВСК-13	1	
5	Машина тонкого волокна 14-15	4	
6	Машина тонкого волокна ДПЦ	3	
7	Машина тонкого волокна ДПЦ	3	
8	Машина тонкого волокна УЗЗВГ	2	
9	Машина тонкого волокна УЗЗВГ-10	1	
10	Машина середнього волокна	4	
11	Машина тонкого волокна	4	
12	Машина тонкого волокна ДПЦ	8	
13	Машина тонкого волокна ЗВГ	1	
14	Машина тонкого волокна ДПЦ	6	
15	Крутильна машина ДШЕ-63	9	
16	Крутильна машина ДШЕ-60А	2	
17	Крутильна машина ДШЕ-43АМТ	7	
18	Крутильна машина ДШЕ-40АМТ	6	

Рисунок 1.9 - Змішана схема електропостачання

Отже, вибір схеми електропостачання є компромісом між вимогами до надійності, економічними витратами та умовами експлуатації. Для об'єктів з невисокими вимогами до безперервності електропостачання доцільно застосовувати прості радіальні або магістральні схеми, тоді як для відповідальних споживачів необхідно передбачати резервування і використовувати більш складні, але надійні кільцеві або змішані структури мереж.

1.3. Вибір силових трансформаторів

Вибір силових трансформаторів є одним із ключових етапів проєктування системи електропостачання, оскільки від правильності цього вибору залежить надійність роботи всієї електричної мережі, економічність її експлуатації та якість електроенергії у споживачів. При цьому необхідно керуватися вимогами нормативних документів, зокрема ПУЕ [2], а також враховувати реальні умови роботи об'єкта.

Першим і основним етапом вибору трансформатора є визначення розрахункового навантаження [9]. Для цього підсумовуються потужності всіх електроприймачів з урахуванням коефіцієнтів попиту та використання. Отримане значення повної потужності дозволяє визначити необхідну номінальну потужність трансформатора. При цьому важливо забезпечити певний запас потужності, який зазвичай становить 10–30 %, щоб врахувати можливе зростання навантаження в майбутньому та уникнути роботи трансформатора в режимі перевантаження.

Наступним кроком є вибір кількості трансформаторів [10-14]. Для споживачів III категорії надійності, як правило, достатньо одного трансформатора, оскільки допускаються перерви в електропостачанні. Для споживачів II категорії доцільно встановлювати два трансформатори, що працюють паралельно або з можливістю резервування, щоб в разі виходу із ладу одного з них інший міг забезпечити живлення основних навантажень. Для споживачів I категорії обов'язковим є резервування живлення, тому застосовуються щонайменше два трансформатори, а інколи передбачається додаткове резервне джерело, наприклад дизель-генератор.

Важливим параметром є також вибір напруги трансформатора. Найчастіше в системах електропостачання застосовуються трансформатори з напругою 10/0,4 кВ або 6/0,4 кВ, що забезпечує живлення більшості споживачів низької напруги. Вибір конкретного рівня напруги залежить від існуючої мережі та технічних умов приєднання до електричних мереж.

Окрім потужності та напруги, необхідно враховувати режим роботи трансформатора. Якщо навантаження є змінним або має значні пікові значення, доцільно вибирати трансформатор з урахуванням допустимих перевантажень. Також слід звертати увагу на втрати холостого ходу та короткого замикання, які впливають на економічність роботи обладнання. Сучасні трансформатори мають знижені втрати, що дозволяє зменшити експлуатаційні витрати.

Не менш важливим є вибір типу трансформатора за способом охолодження та конструкцією. Найбільш поширеними є масляні трансформатори, які відзначаються високою надійністю та ефективністю, але потребують дотримання вимог пожежної безпеки. У приміщеннях або в місцях з підвищеними вимогами до безпеки часто застосовують сухі трансформатори, які є більш екологічними та безпечними, хоча й дорожчими.

При виборі трансформатора також враховують умови його встановлення: зовнішнє чи внутрішнє розміщення, кліматичні фактори, рівень вологості, наявність пилу або агресивного середовища. Всі ці фактори можуть впливати на довговічність і надійність роботи обладнання.

Таким чином, вибір силового трансформатора є комплексним завданням, яке потребує врахування багатьох технічних та економічних факторів. Правильно підібраний трансформатор забезпечує ефективну, надійну та безпечну роботу системи електропостачання протягом усього терміну експлуатації.

На рисунку 1.10 показано програму для вибору силових трансформаторів, розроблену працівниками та аспірантами кафедри Електричної інженерії [15-16].

Порівняльний розрахунок трансформаторів

Ця програма проводить порівняльний розрахунок трансформаторів

Укр / Eng

Вихідні дані

	Трансформатор 1	Трансформатор 2
Коефіцієнт завантаження в нормальному режимі	0,6	0,4725
Коефіцієнт завантаження в аварійному режимі	0,42857142857142	0,675
Реактивна потужність холостого ходу, кВАр	10,08	7,2
Реактивна потужність короткого замикання, кВАр	34,65	18
Приведені втрати холостого ходу, кВт	1,2516	0,974
Приведені втрати короткого замикання, кВт	8,293	5,86
Приведені втрати електроенергії, кВт	4,23708	2,282281625
Приведені втрати в трансформаторах, кВт	4,23708	4,56456325
Втрати електроенергії за рік, кВт*год	37116,8208	39985,57407
Вартість втрат електроенергії за рік, грн	389726,6184	419848,527735
Капітальні затрати, грн	312000	458000
Річні експлуатаційні затрати, грн	31200	45800
Сумарні річні затрати, грн	420926,6184	465648,527735
Термін окупності, років	3,26461911333777	
Економічна ефективність, грн	44721,9093350001	

Довідка

Обчислити

Вхідні дані

Повна потужність навантаження, кВА: 378

Час включення, год: 8760

Коефіцієнт зміни витрат, кВт/кВАр: 0,02

Вартість одного кіловата електроенергії, грн: 10,5

Коефіцієнт експлуатаційних відрахувань: 0,1

	Трансформатор 1	Трансформатор 2
Потужність трансформаторів, кВА	630	400
Кількість трансформаторів, шт	1	2
Перевантаження одного трансформатора на 40%	1,4	1,4
Втрати холостого ходу, кВт	1,05	0,83
Втрати короткого замикання, кВт	7,6	5,5
Струм холостого ходу, %	1,6	1,8
Напруга короткого замикання, %	5,5	4,5
Вартість одного трансформатора, грн	312000	229000

Рисунок 1.10 - Програма для вибору силових трансформаторів.

1.4 Розрахунок центру електричних навантажень

Вибір центру електричних навантажень є важливим етапом проектування системи електропостачання, оскільки він безпосередньо впливає на економічність, надійність та ефективність роботи електричної мережі. Правильне визначення цього центру дозволяє мінімізувати довжину кабельних ліній, зменшити втрати електроенергії, а також оптимізувати розташування трансформаторних підстанцій і розподільчих пристроїв. При виконанні розрахунків слід керуватися вимогами ПУЕ [2] та загальноприйнятими методиками електротехнічного проектування.

Центр електричних навантажень — це умовна точка, координати якої визначаються таким чином, щоб сумарні витрати на передачу електроенергії були мінімальними. Іншими словами, це «центр ваги» всіх електричних навантажень об'єкта, де роль маси відіграє електрична потужність споживачів. Найчастіше цей центр визначається для вибору оптимального місця розташування трансформаторної підстанції або головного розподільчого щита.

Для визначення координат центру електричних навантажень використовують аналітичний метод, який базується на розрахунку середньозважених координат [3-5, 17-18]. Кожному електроприймачу або групі навантажень задаються координати на плані об'єкта та відповідна розрахункова потужність. Далі визначаються координати центру.

Отримані координати наносяться на план будівлі або території, після чого визначається найбільш доцільне місце встановлення трансформаторної підстанції або розподільчого пункту. Важливо зазначити, що отримана точка є теоретичною, тому при остаточному виборі місця встановлення необхідно враховувати реальні умови: архітектурні обмеження, наявність вільного простору, вимоги пожежної безпеки, зручність обслуговування, можливість підведення зовнішніх мереж та інші фактори.

У випадку складних об'єктів з великою кількістю навантажень або значною територією інколи визначають декілька центрів навантажень для окремих зон. Це дозволяє застосувати децентралізовану систему електропостачання з кількома підстанціями, що підвищує надійність та зменшує втрати електроенергії в мережі.

Таким чином, вибір центру електричних навантажень є важливим техніко-економічним завданням, яке дозволяє оптимізувати структуру системи електропостачання. Його правильне визначення забезпечує зниження капітальних витрат на кабельні мережі, зменшення експлуатаційних витрат та підвищення загальної ефективності роботи електроустановок.

На рисунку 1.11 показано програму для розрахунку центру електричних навантажень, розроблену працівниками та аспірантами кафедри Електричної інженерії [17].

Розрахунок центру електричних навантажень

Eng / Ukr

ЕІ ЕЛЕКТРИЧНА ІНЖЕНЕРІЯ ЗАПЧАТКОВАНА У 2018

ТНТ

Розрахувати Експорт у Excel Додати рядок

		Назва виробничого обладнання	№ на плані	Встановлена потужність одиної обладнання Рн, кВт	Xi, м	Yi, м	Рн·Xi	Рн·Yi
▶ 1	<input checked="" type="checkbox"/>	Розподільчий пункт	РП1	78,55	7	11,7	549,85	919,035
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Розподільчий пункт	РП2	73,8	22,5	11,7	1660,5	863,46
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Розподільчий пункт	РП3	77,76	19,5	0,3	1516,32	23,328
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Розподільчий пункт	РП4	80,15	7	0,3	561,05	24,045
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Розподільчий пункт	РП5	91,225	43	3,2	3922,675	291,92
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Розподільчий пункт	РП6	92,9	30,5	3,5	2833,45	325,15
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Молот пневматичний ковальський	30	55	33	2,4	1815	132
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Шахтна електропіч опору (650 °С)	34	75	36	2,4	2700	180

Результат обчислень

Сума потужностей :

Сума добутку першого : Сума добутку другого :

X: Y:

Рисунок 1.11 - Програма для розрахунку центру електричних навантажень.

1.5. Постановка завдань

1. Виконати характеристику споживачів електричної енергії та визначити категорію надійності електропостачання;
2. Обґрунтувати вибір схеми електропостачання та конфігурації мережі;
3. Здійснити розрахунок електричних навантажень для денного та вечірнього максимумів;
4. Вибрати кількість та потужність силових трансформаторів підстанції на основі техніко-економічного порівняння варіантів;
5. Виконати розрахунок і вибір розподільчих електромереж та кабелів живлення з урахуванням умов нагріву, економічності та стійкості до струмів короткого замикання;
6. Визначити струми короткого замикання у характерних точках мережі;
7. Здійснити вибір електрообладнання комплектної трансформаторної підстанції та перевірити його на термічну і електродинамічну стійкість;
8. Розрахувати та вибрати систему релейного захисту силового трансформатора;
9. Розробити схему керування, захисту, сигналізації та автоматики;
10. Забезпечити відповідність проектних рішень вимогам нормативних документів та умовам безпечної експлуатації.

2 РОЗРАХУНОК РОЗДІЛ

2.1 Характеристика споживачів електричної енергії та визначення категорії по надійності електропостачання для житлового масиву.

Надійність електропостачання міських споживачів має відповідати [2].

Основними електроспоживачами житлового масиву являються побутові споживачі приватного сектору, магазин із торгівельною площею 250 м² та житловий будинок на дев'ять поверхів, тому, при виборі числа та потужності силових трансформаторів підстанції можна враховувати вимоги по надійності електропостачання споживачів II-ї категорії [3, 5, 6].

2.2 Вибір та обґрунтування схеми електропостачання житлового масиву.

Споживачем електроенергії являється житловий масив селища Соколівка Ярмолинецького району та ферма великої рогатої худоби. Споживачі даного об'єкту проектування відносяться до II-ї категорії по надійності електропостачання. Житлові будинки II-ї категорії мають декілька рівнів електрифікації побуту: із газовими плитами, електроплитами для приготування їжі, із електричними опалювальними котлами, із електричними ємностями для підігріву води, тощо. Необхідна підстанція передбачається двох-трансформаторною, схема буде кільцева, тобто, з подвійним живленням, секціонована з одним РП-10 кВ.

2.3 Відомість споживачів електричної енергії житлового масиву.

Об'єктом електропостачання являється селище Соколівка Ярмолинецького району. Приводимо характеристику об'єкту проектування, тобто, кількість споживачів, їх встановлену потужність, коефіцієнт

одночасності, коефіцієнти участі споживачів в денному та вечірньому максимумі навантаження, дані заносимо у таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Відомість споживачів електричної енергії житлового масиву

Назва електричного приймача та лінії	К-сть шт.	K_o	K_d	K_e	$P_{вст}$, кВт
<u>Польова дорога</u> Приватний будинок	80,0	0.16	0.6	1,0	9.5
<u>провулок Щорса</u> Приватний будинок	35,0	0.16	0.6	1,0	9.5
<u>Польова дорога</u> Ферма великої рогатої худоби	1,0	0.9	0.9	0.6	500,0

2.4 Розрахунок електричних навантажень житлового масиву.

Розрахунок електричних навантажень населеного пункту здійснюється окремо для денного та вечірнього максимумів навантаження.

Розрахункова потужність електричних споживачів визначається згідно:

$$P_{роз1} = K_o \cdot P_{вст}$$

де K_o – коефіцієнт одночасності (табл. 2.1);

$P_{вст}$ – встановлена потужність (табл. 2.1).

Розрахунок проведемо для приватних будинків по польовій дорозі, отже:

$$P_{роз1} = 0,16 \cdot 9,5 = 1,52 \text{ кВт}.$$

Визначаємо денне P_d та вечірнє P_e навантаження житлового сектора:

$$P_{d1} = n \cdot K_d \cdot P_{роз1}.$$

$$P_{e1} = n \cdot K_e \cdot P_{роз1}.$$

де n – кількість житлових будинків лінії (табл. 2.1).

K_d – коефіцієнт участі житлового будинку у денному максимумі навантаження (табл. 2.1);

K_e – коефіцієнт участі житлового будинку у вечірньому максимумі навантаження (табл. 2.1), тоді

$$P_{d1} = 80 \cdot 0,6 \cdot 1,52 = 73 \text{ кВт};$$

$$P_{e1} = 80 \cdot 1 \cdot 1,52 = 122 \text{ кВт}.$$

Подальші розрахунки для інших споживачів проводяться аналогічно, результати заносимо у таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Електричні навантаження.

№ п/п	Назва електроприймача	$P_{роз}$	P_d	P_e
1	<u>Польова дорога</u>			
	Приватний будинок	1,52	73,0	122,0
2	<u>Провулок Щорса</u>			
	Приватний будинок	1,52	32,0	53,0
3	<u>Польова дорога</u>			
	Ферма великої рогатої худоби	450,0	405,0	270,0
	Всього	453,04	510,0	445,0

Так як споживачі у даному секторі є не лише побутовими, то навантаження потрібно визначати із врахуванням денного та вечірнього режимів.

Повне навантаження складається із суми навантажень всіх споживачів ΣP_d , ΣP_e та навантаження вуличного освітлення $P_{e.o.}$:

$$P_{e.o.} = l \cdot P_{nut},$$

де l – довжина вулиць населеного пункту, м;

$$l = 1680 \text{ м};$$

P_{nut} – питоме навантаження вуличного освітлення, кВт;

приймаємо $P_{\text{нм}} = 6 \text{ Вт} / \text{м}$, тоді:

$$P_{\text{в.о.}} = 1680 \cdot 6 \approx 10 \text{ кВт}, \text{ отже,}$$

$$P_p = \Sigma P_o + \Sigma P_e + P_{\text{в.о.}} = 510 + 445 + 10 = 965 \text{ кВт}.$$

2.5 Вибір числа та потужності силових трансформаторів житлового масиву.

Відбувається на базі порівняння технічних і економічних показників намічених варіантів вибору.

Знаходимо повну розрахункову потужність на шинах трансформаторної підстанції [5]:

$$S_{p.mn} = \frac{P_p}{\cos \varphi},$$

де P_p – розрахункове навантаження, кВт;

$$P_p = 965 \text{ кВт}$$

$\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності ТП 10/0,4 кВ у вечірній час;

$$\cos \varphi = 0,92, \text{ отже,}$$

$$S_{p.mn} = \frac{965}{0,92} = 1049 \text{ кВА}.$$

Отже, відповідно до розрахункового навантаження $S_{p.mn} = 1049 \text{ кВА}$ пропонується в даному випадку два варіанти встановлення силових трансформаторів:

- 1-ий варіант: два трансформатори по 1000 кВА;
- 2-ий варіант: один трансформатор на 1600 кВА.

Проводимо перевірку забезпечення живлення споживачів у нормальному режимі роботи [3]:

$$S_{\text{н.м.}} \geq S_{p.mn}$$

- 1-ий варіант: $S_{\text{н.м.}} = 2 \cdot 1000 \text{ кВА} > S_{p.mn} = 1049 \text{ кВА}$;
- 2-ий варіант: $S_{\text{н.м.}} = 1 \cdot 1600 \text{ кВА} > S_{p.mn} = 1049 \text{ кВА}$.

Коефіцієнт завантаження згідно формули [3-7]:

$$k_3 = \frac{S_{p.mn}}{n \cdot S_{н.т.}}$$

де $S_{p.mn}$ – повна розрахункова потужність, κBA ;

$$S_{p.mn} = 1049 \kappa BA;$$

$S_{н.т.}$ – номінальна потужність трансформатора, κBA ;

n – кількість трансформаторів, звідси:

$$\text{- 1-ий варіант: } k_{31} = \frac{1049}{2 \cdot 1000} = 0,52 \text{ або } 52\%;$$

$$\text{- 2-ий варіант: } k_{32} = \frac{1049}{1 \cdot 1600} = 0,65 \text{ або } 65\%.$$

Для 1-шого варіанту знаходимо коефіцієнт перевантаження [3]:

$$k_{3.ав} = \frac{S_{p.mn}}{(n-1) \cdot S_{н.т.}} \leq 1,3;$$

$$k_{3.ав} = \frac{1049}{(2-1) \cdot 1000} = 1,03 \leq 1,3,$$

коефіцієнт допустимого перевантаження знаходиться у межах норми.

Для 2-гого варіанту знаходимо запас по потужності $S_{н.т.} = 1600 \kappa BA$ при взаємному резервуванні від сусідньої трансформаторної підстанції:

$$S_{рез.} = 1,3 \cdot S_{н.т.} - S_{p.mn} = 1,3 \cdot 1600 - 1049 = 1031 \kappa BA,$$

а розрахункове навантаження споживачів II-ї категорії становить:

$$S_{p.И} = 0,7 \cdot S_{p.mn} = 0,7 \cdot 1049 = 734 \kappa BA.$$

Отже, резервування від сусідньої трансформаторної підстанції забезпечить живлення споживачів II-ї категорії.

Для остаточного вибору потужності силового трансформатора потрібно провести економічне порівняння.

По [19] додаток “Ж” заносимо технічні дані обох трансформаторів у таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Технічні дані силових трансформаторів.

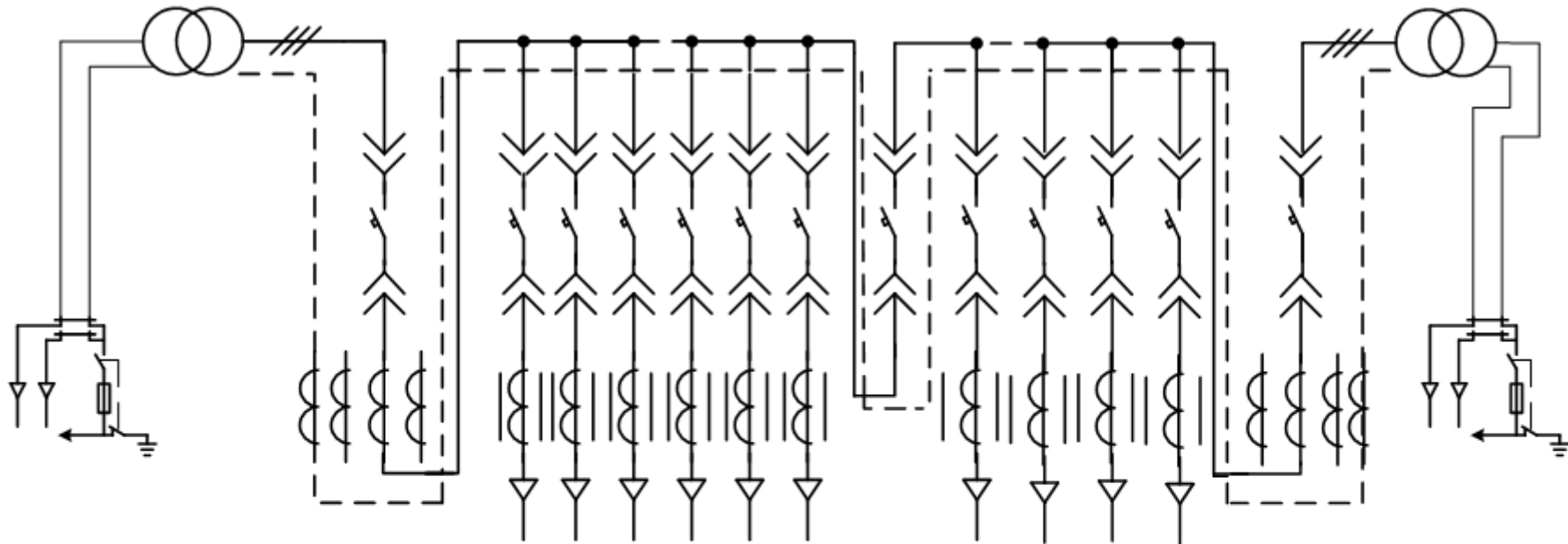
Номер варіанту	$S_{н.тр},$ кВА	$\Delta P_{x.x},$ кВт	$\Delta P_{кз},$ кВт	$U_{кз},$ %	$I_{x.x},$ %
I	2 · 1000	1.9	10.8	5.5	1.2
II	1 · 1600	2.65	16.5	6.0	1.0

Сумарні експлуатаційні витрати 1-шого варіанту більші ніж 2-гого, але так як об'єкт відноситься до II-гої категорії електропостачання, то до розрахунку остаточно приймається 1-ший варіант – два трансформатори потужністю $S_{н.тр.} = 2 \cdot 1000$ кВА.

2.6 Розробка конструкції КТП.

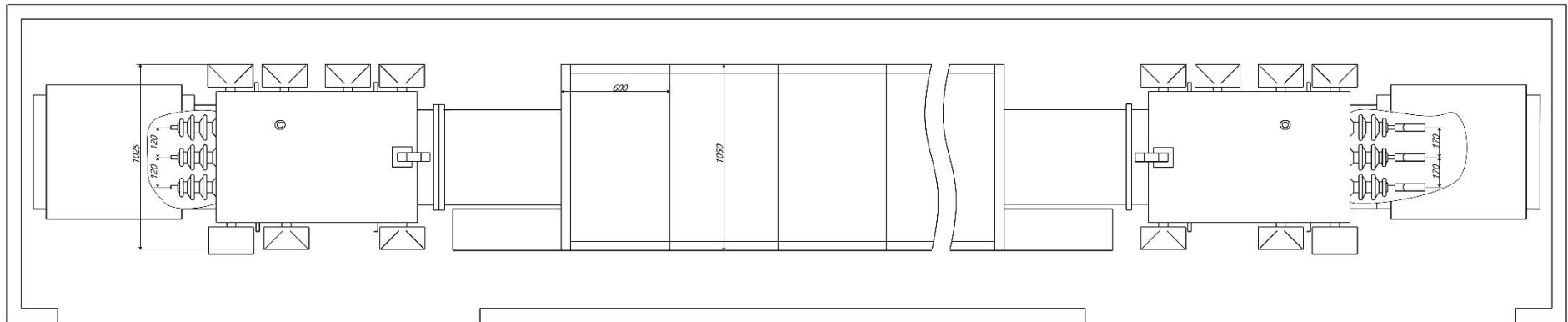
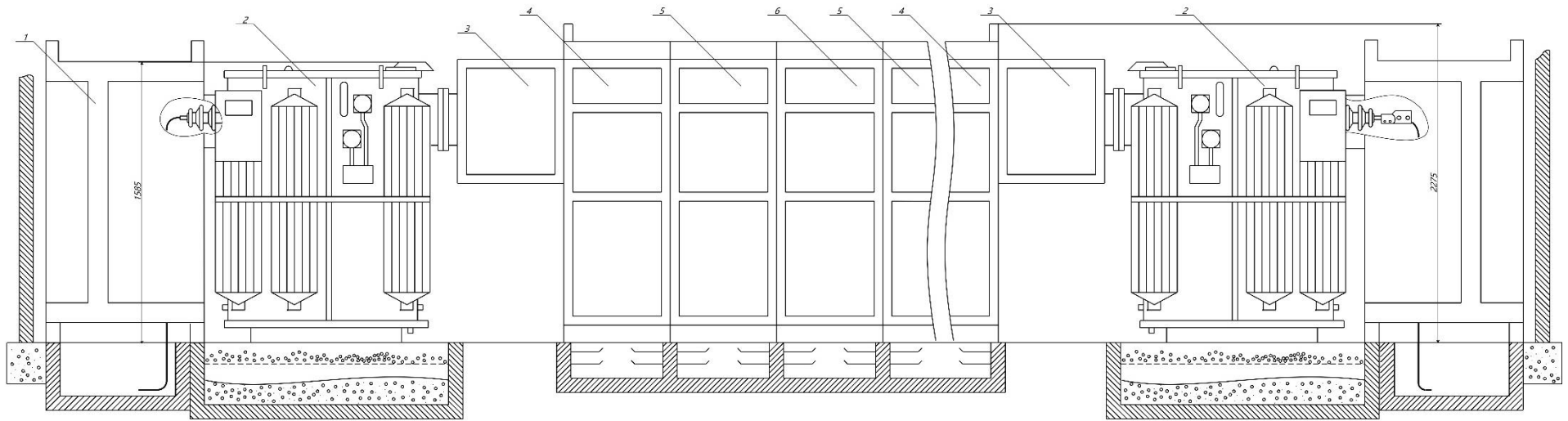
Приводимо основні параметри КТП (Додаток А).

На рисунку 2.1 та 2.2 показані схеми КТП.



УВН	Силовий тр-р	РУНН							Силовий тр-р	УВН	
ШВВ-У1	ТМЗ-1000	ШНВ-1ЛУ1		ШНЛ-7У1	ШНС-1У1		ШНЛ-7У1	ШНВ-1ПУ1		ТМЗ-1000	ШВВ-У1
		тип вимикача		тип вимикача	тип вимикача		тип вимикача	тип вимикача			
		ввідний	лінійний	лінійний	лінійний	ввідний	лінійний	лінійний	ввідний		
		ВА55-41	ВА53-39	ВА53-39	ВА53-39	ВА55-41	ВА53-39 ВА53-41	ВА53-39	ВА55-41		

Рисунок 2.1 – Схема КТП.



Позна	Найменування	К-сть	Примітка
4	Ввідна шафа 10 кВ (ШВВ-У1)	2	
2	Силовий трансформатор (ТМЗ-1000-10/0,4)	2	
3	Релейна шафа	2	
4	Видрава шафа 0,4 кВ (ШНВ-1ЛУ1, ШНВ-1ЛУ1)	2	
5	Лінійна шафа 0,4 кВ (ШНЛ-7У1)	2	
6	Секційна шафа 0,4 кВ (ШНС-1У1)	1	

Рисунок 2.2 – Схема КТП.

2.7 Розрахунок і вибір розподільчої електромережі.

Проводи на ділянках лінії вибираємо за величиною еквівалентної потужності.

$$S_{екв} = K_0 \cdot S_p,$$

де S_p – розрахункова потужність на ділянці, $кВА$;

K_0 – коефіцієнт динаміки зростання навантаження для нових будов з розрахунковим періодом 7 р. – $K_0 = 0,7$.

Лінії споруджуються на залізобетонних опорах у третьому кліматичному районі по ожеледі, по швидкості і напору вітру.

Лінія 1.1.

Визначаємо розрахункову повну потужність [3]:

$$S_p = \frac{P_p}{\cos \varphi}$$

де P_p – розрахункове навантаження лінії, $кВт$;

$$P_p = P_0 + P_6 = 73 + 122 = 195 \text{ кВт};$$

$\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності ТП 10 / 0,4 $кВ$ у вечірній час;

$$\cos \varphi = 0,92, \text{ отже}$$

$$S_p = \frac{195}{0,92} = 212 \text{ кВА}.$$

Еквівалентна потужність лінії становить:

$$S_{екв} = K_0 \cdot S_p = 0,7 \cdot 212 = 148 \text{ кВА}.$$

Визначаємо розрахунковий струм [3]:

$$I_p = \frac{S_{екв}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{148}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 213 \text{ А}.$$

Вибираємо для ПЛ провід СП5нг із алюмінієвими жилами у ізоляції з «зшитого поліетилену», стійкого до дії ультрафіолетового випромінювання та не розповсюджуючого горіння із тривало-допустимим струмом $I_{дон} = 213 \text{ А}$ та перерізом жил 4×70 , та перевіряємо його за умовою:

$$I_{\text{дон}} \geq I_p - I_{\text{дон}} = 213 \text{ A} = I_p = 213 \text{ A} \text{ умова виконується.}$$

Розрахунки для інших ліній проводимо аналогічно, результати їх проведення заносимо у таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 – Технічні дані ліній живлення.

Номер лінії	I_p , A	$I_{\text{дон}}$, A	Тип провoda (кабеля)	Тип автомату	$I_{\text{н.розч}}$, A	$I_{\text{н.а}}$, A
Лінія 1.1.	213,0	213,0	СП5нг – 4 × 70	-	-	-
Лінія 1.2.	92,0	93,0	СП5нг – 4 × 16	-	-	-
	307,0	450,0	СБ1 – 4 × 185	ВА53 - 39	400,0	400,0
Лінія 2.	742,0	1000,0	4СБ1 – 1 × 300	ВА53 - 41	1000,0	1000,0

Визначаємо переріз кабелю, який живить лінію 1 [3].

$$S_p = \frac{P_p}{\cos \varphi}$$

де P_p – розрахункове навантаження лінії, kBm ;

$$P_p = 280 \text{ kBm};$$

$\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності ТП 10/0,4 kB у вечірній час;

$$\cos \varphi = 0,92, \text{ отже}$$

$$S_p = \frac{280}{0,92} = 304 \text{ kBA}.$$

Еквівалентна потужність лінії становить:

$$S_{\text{екв}} = K_d \cdot S_p = 0,7 \cdot 304 = 213 \text{ kBA}.$$

Визначаємо розрахунковий струм згідно формули:

$$I_p = \frac{S_{\text{екв}}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{213}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 307 \text{ A}.$$

Вибираємо кабель для прокладки у землі із мідними жилами та записуємо його тип: СБ1–4х185 із тривало-допустимим струмом $I_{\text{дон}} = 450 \text{ A}$. Перевіряємо його за умовою:

$$I_{\text{дон}} \geq I_p - I_{\text{дон}} = 450 \text{ A} > I_p = 307 \text{ A}.$$

Вибраний кабель необхідно захистити автоматичним вимикачем.

Вибираємо автоматичний вимикач серії *ВА* та перевіряємо його по умовах:

$$U_{\text{н.а}} \geq U_{\text{н.м}} - U_{\text{н.а}} = 660 \text{ В} > U_{\text{н.м}} = 380 \text{ В};$$

$$I_{\text{н.а}} \geq I_p - I_{\text{н.а}} = 400 \text{ A} > I_p = 307 \text{ A};$$

$$I_{\text{н.р}} = 1,0 I_{\text{н.а}} - 1,0 I_{\text{н.а}} = 1,0 \cdot 400 = 400 \text{ A};$$

$$I_{\text{н.р}} \geq 1,25 \cdot I_p - 1,25 \cdot I_p = 1,25 \cdot 307 = 384 \text{ A};$$

$$I_{\text{н.р}} = 400 \text{ A} > 1,25 \cdot I_p = 384 \text{ A};$$

$$I_{\text{дон}} \geq I_{\text{н.р}};$$

$$I_{\text{дон}} = 450 \text{ A} > I_{\text{н.р}} = 400 \text{ A}.$$

умови вибору виконуються.

Остаточню, вибираємо вимикач типу *ВА53-39*.

Для лінії 2 розрахунки аналогічні, дані заносимо у таблицю.

На рисунку 2.3 показано схему електропостачання.

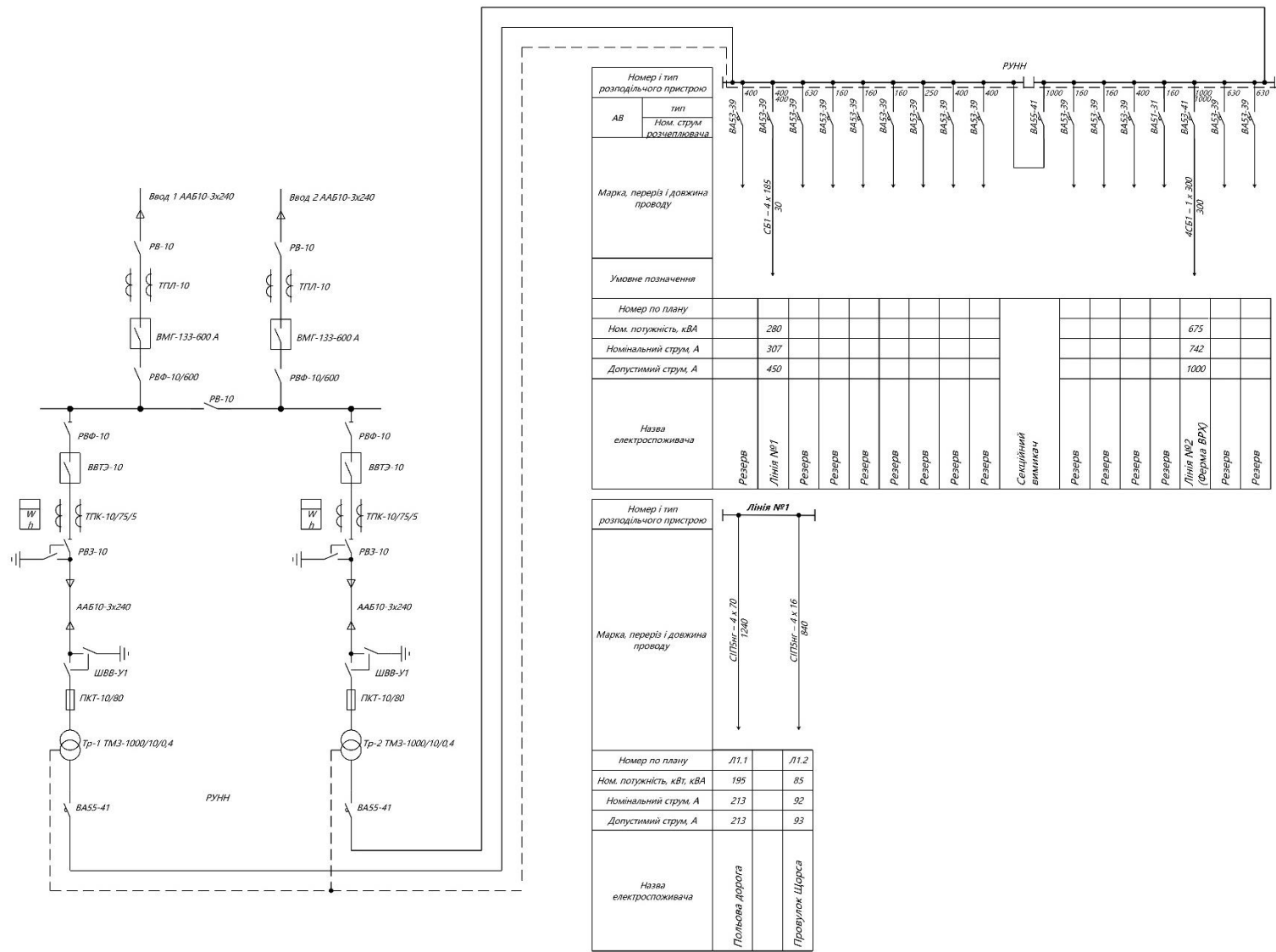


Рисунок 2.3 – Схема електропостачання

2.8 Висновки до Розділу 2

У даному розділі виконано повний комплекс розрахунків та обґрунтувань системи електропостачання житлового масиву. Встановлено, що основні споживачі (приватний сектор, багатоповерховий житловий будинок, магазин та ферма ВРХ) за вимогами ПУЕ відносяться до II категорії за надійністю електропостачання, що обумовлює необхідність забезпечення резервування живлення.

На основі аналізу структури споживання електроенергії обґрунтовано вибір кільцевої схеми електропостачання з двостороннім живленням та застосуванням двотрансформаторної підстанції, що підвищує надійність електропостачання та забезпечує безперервність роботи споживачів у разі аварійних режимів.

У результаті розрахунку електричних навантажень визначено значення розрахункових потужностей для денного та вечірнього максимумів. Встановлено, що сумарне навантаження житлового масиву з урахуванням вуличного освітлення формує основу для вибору силового обладнання підстанції.

Проведено техніко-економічне порівняння варіантів встановлення силових трансформаторів. Враховуючи вимоги до надійності електропостачання, остаточно прийнято варіант із двома трансформаторами, який забезпечує допустимий рівень завантаження, можливість роботи при аварійному відключенні одного трансформатора та відповідність нормативним вимогам.

Виконано розрахунок і вибір розподільчих електромереж. Обґрунтовано застосування самонесучих ізольованих проводів типу СПІ для повітряних ліній та кабельних ліній із відповідним перерізом жил для підземної прокладки. Перевірено допустимі струмові навантаження, умови нагріву та вибрано апарати захисту, які забезпечують надійну та безпечну експлуатацію мережі.

Таким чином, розроблена система електропостачання відповідає вимогам надійності, економічності та безпеки, забезпечує ефективне живлення всіх споживачів житлового масиву та може бути рекомендована до практичної реалізації.

3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розрахунок струмів КЗ

Складаємо розрахункову схему (рис. 3.1).

В схему входять усі джерела та усі елементи СЕП. На рис. 3.1 вказуються основні параметри елементів та намічаються точки короткого замикання.

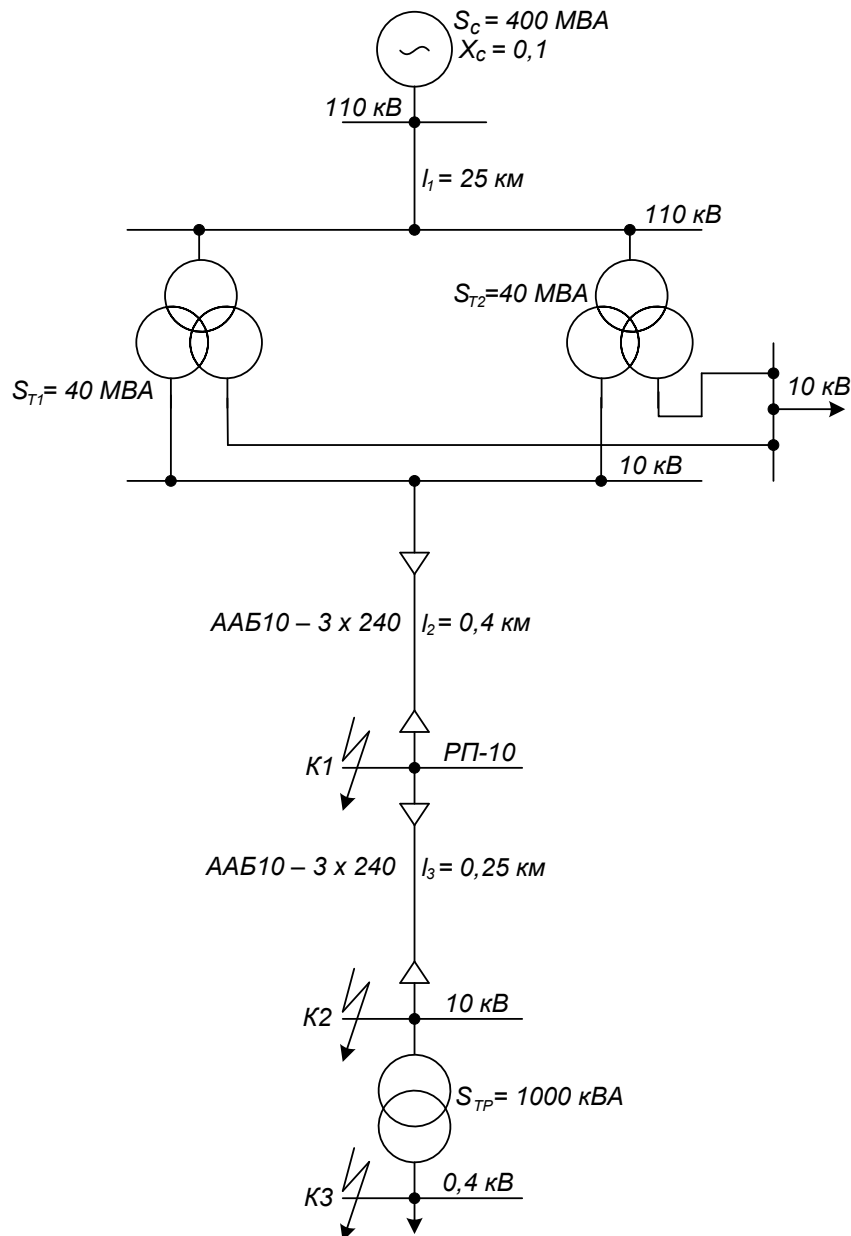


Рис.3.1 - Розрахункова схема

Технічні дані трьохобмоточного трансформатора типу
ТДТН – 40000/110 /10/10:

$$S_n = 40 \text{ MVA};$$

$$\Delta P_{x.x.} = 63 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{кз} = 230 \text{ кВт}$$

$$I_{x.x.} = 0,9 \%;$$

$$U_{кз} - BH - CH = 10,5 \%$$

$$-BH - HH = 17 \%$$

$$-CH - HH = 6 \%$$

На базі рис. 3.1 складаємо схему заміщення (рис.3.2), замінивши усі елементи схеми на опори, які приводяться до базисних умов.

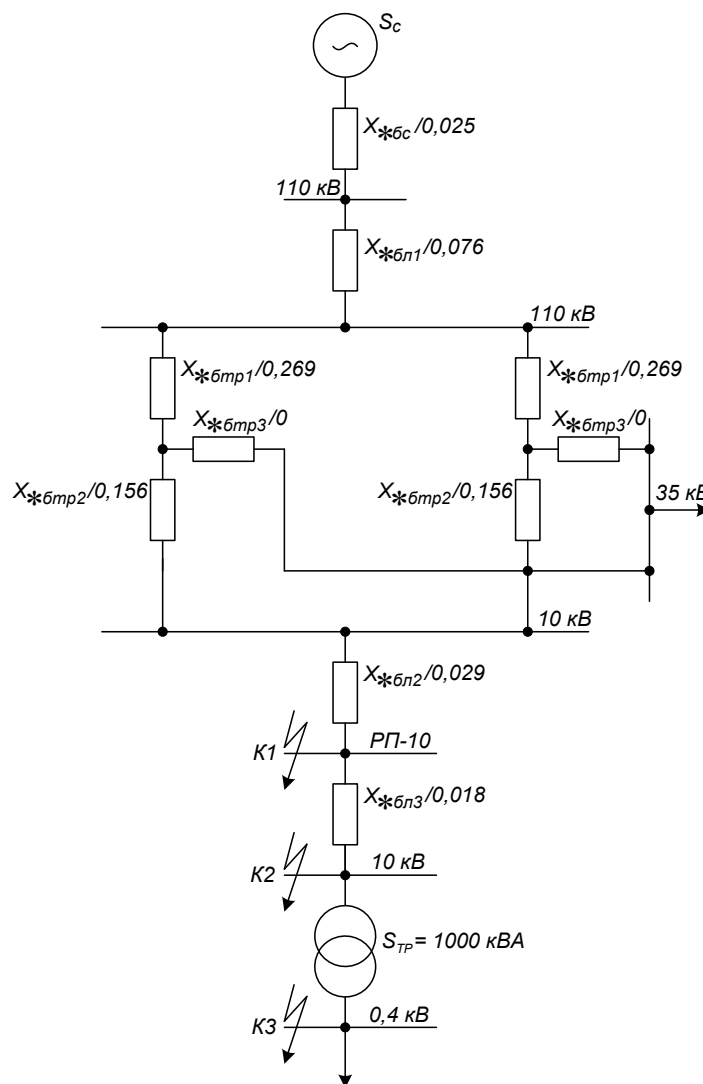


Рис.3.2 - Схема заміщення

Базисний струм визначається за формулою:

$$I_{\bar{o}} = \frac{S_{\bar{o}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\bar{o}}},$$

де $S_{\bar{o}}$ – базисна потужність, *MVA*; приймаємо $S_{\bar{o}} = 100$ *MVA*;

$U_{\bar{o}}$ – базисна напруга, приймаємо $U_{\bar{o}} = 10,5$ *kV*, тоді:

$$I_{\bar{o}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5$$

Відносний опір системи визначається за формулою:

$$x_{*\bar{o}c} = x_c \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{S_c} = 0,1 \cdot \frac{100}{400} = 0,025.$$

Відносний опір лінії 1 визначаємо за формулою:

$$x_{*\bar{o}l1} = x_0 \cdot l_1 \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{U_{cp}^2}$$

де x_0 – реактивний опір 1 *кМ* лінії, для ПЛ: $x_0 = 0,4$ *Ом/кМ*;

l_1 – довжина лінії, *кМ*; $l_1 = 25$ *кМ*;

U_{cp} – базисна міжфазна напруга, приймаємо 115 *kV*, тоді:

$$x_{*\bar{o}l1} = 0,4 \cdot 25 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,076.$$

Відносний опір кожної обмотки трьохобмоточного трансформатора:

$$U_{кз1 B} = \frac{U_{KB-C} + U_{KB-H} + U_{KC-H}}{2} = \frac{10,5 + 17 - 6}{2} = 10,75 \%;$$

$$U_{кз2 H} = \frac{U_{KB-H} + U_{KC-H} - U_{KB-C}}{2} = \frac{17 + 6 - 10,5}{2} = 6,25 \%;$$

$$U_{кз3 C} = \frac{U_{KB-C} + U_{KC-H} - U_{KB-H}}{2} = \frac{10,5 + 6 - 17}{2} = 0 \%;$$

Тоді:

$$x_{*\bar{o}mp1} = \frac{U_{кз1\%}}{100} \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{S_{н.тр}} = \frac{10,75}{100} \cdot \frac{100}{40} = 0,269;$$

$$x_{*\bar{o}mp2} = \frac{U_{кз2\%}}{100} \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{S_{н.тр}} = \frac{6,25}{100} \cdot \frac{100}{40} = 0,156;$$

$$x_{*\bar{o}mp3} = 0.$$

Відносний опір лінії 2 визначається за формулою:

$$x_{*\delta l2} = x_0 \cdot l_2 \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{cp}^2}$$

де x_0 – реактивний опір 1 км лінії, для КЛ $x_0 = 0,08$ Ом/км;

l_2 – довжина лінії, км; $l_2 = 0,4$ км

$$x_{*\delta l2} = 0,08 \cdot 0,4 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,029$$

Результуючий опір до К-1:

$$\begin{aligned} x_{*\delta_{рез1}} &= x_{*\delta c} + x_{*\delta l1} + \frac{(x_{*\delta_{mp1}} + x_{*\delta_{mp2}}) \cdot (x_{*\delta_{mp1}} + x_{*\delta_{mp2}})}{(x_{*\delta_{mp1}} + x_{*\delta_{mp2}}) + (x_{*\delta_{mp1}} + x_{*\delta_{mp2}})} + x_{*\delta l2} = \\ &= 0,025 + 0,076 + \frac{(0,269 + 0,156) \cdot (0,269 + 0,156)}{(0,269 + 0,156) + (0,269 + 0,156)} + 0,029 = 0,3425 \end{aligned}$$

Розрахунковий опір для К-1:

$$x_{роз1} = x_{*\delta_{рез1}} \cdot \frac{S_c}{S_{\delta}} = 0,3425 \cdot \frac{400}{100} = 1,37$$

Так як, $x_{роз1} < 3$, то струм КЗ визначається за розрахунковим кривими:

$$I_{к1} = I_{н.с.} \cdot k_t$$

де $I_{н.с.}$ – номінальний струм системи:

$$I_{н.с.} = \frac{S_c}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 10} = 23 \text{ кА.}$$

k_t – кратність струму КЗ; $k_t = 0,82$ при $t = \infty$ та $x_{роз1} = 1,37$, отже:

$$I_{к1} = 23 \cdot 0,82 = 19 \text{ кА.}$$

Ударний струм:

$$i_{y\delta 1} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{к1}$$

де k_y – ударний коефіцієнт; $k_y = 1,8$ тоді

$$i_{y\delta 1} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 19 = 48 \text{ кА.}$$

Потужність КЗ:

$$S_{кз1} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_{к1} = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 19 = 329 \text{ МВА}$$

Відносний опір лінії 3:

$$x_{*\delta l3} = x_0 \cdot l_3 \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{cp}^2} = 0,08 \cdot 0,25 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,018$$

Результуючий опір до точки короткого замикання К-2:

$$x_{*брз2} = x_{*брз1} + x_{*бл3} = 0,3425 + 0,018 = 0,361$$

Розрахунковий опір КЗ для точки К-2:

$$x_{роз2} = x_{*брз2} \cdot \frac{S_c}{S_{\sigma}} = 0,361 \cdot \frac{400}{100} = 1,4$$

Так як, $x_{роз2} < 3$, то струм короткого замикання визначається по розрахунковим кривим, тоді:

$$I_{к2} = I_{н.с.} \cdot k_t$$

кратність струму короткого замикання, при $t = 0$ с та $x_{роз2} = 1,4$, становить $k_t = 0,72$ тоді:

$$I_{к2} = 23 \cdot 0,72 = 16,6 \text{ кА}$$

Ударний струм:

$$i_{уд2} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{к2} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 16,6 = 42 \text{ кА}$$

Потужність короткого замикання:

$$S_{кз2} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_{к2} = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 16,6 = 287,5 \text{ МВА}$$

Струм КЗ у точці К-3, визначивши опір системи:

$$x_c = \frac{U_{н.ном}^2}{S_{відкл}}$$

де $U_{н.ном}$ – номінальна напруга із НН;

$$U_{н.ном} = 0,4 \text{ кВ} = 400 \text{ В}$$

$S_{відкл}$ – номінальна потужність відключення МВ;

$$S_{відкл} = S_{кз2} = 287,5 \text{ МВА} = 287,5 \cdot 10^6 \text{ ВА}$$

$$x_c = \frac{400^2}{287,5 \cdot 10^6} = 0,00056 \text{ Ом} = 0,56 \text{ мОм}$$

Опір трансформатора (відносні одиниці):

активний:

$$r_{*m} = \frac{\Delta P_{КЗ}}{S_{н.тр}},$$

де $\Delta P_{КЗ}$ – втрати КЗ у трансформаторі, кВт ;

$$\Delta P_{K3} = 10,8 \text{ кВт}$$

$S_{н.мп}$ – номінальна потужність силового трансформатора, *кВА*

$$S_{н.мп} = 1000 \text{ кВА}$$

$$r_{*m} = \frac{10,8}{1000} = 0,0108$$

реактивний:

$$x_{*m} = \sqrt{U_{K3}^2 - r_{*T}^2}$$

де U_{K3} – напруга КЗ трансформатора,

$$U_{K3} = 5,5 \%$$

$$x_{*m} = \sqrt{0,055^2 - 0,0108^2} = 0,056$$

Опори трансформатора приведені до напруги 0,4 кВ :

$$r_m = r_{*m} \cdot \frac{U_{н.ном}^2}{S_{н.мп}} = 0,0108 \cdot \frac{400^2}{1000 \cdot 10^3} = 0,002 \text{ Ом} = 2 \text{ МОм}$$

$$x_m = x_{*m} \cdot \frac{U_{н.ном}^2}{S_{н.мп}} = 0,056 \cdot \frac{400^2}{1000 \cdot 10^3} = 0,009 \text{ Ом} = 9 \text{ МОм}$$

Опори шин при відстані між фазами $l = 250 \text{ мм}$ і питомих опор $x_0 = 0,179 \text{ мОм/м}$; $r_0 = 0,06 \text{ мОм/м}$, якщо довжина шин 5 м:

$$r_{ш} = r_0 \cdot l_{ш} = 0,06 \cdot 5 = 0,3 \text{ мОм} = 0,0003 \text{ Ом}$$

$$x_{ш} = x_0 \cdot l_{ш} = 0,179 \cdot 5 = 0,895 \text{ мОм} = 0,000895 \text{ Ом}$$

Перехідний опір контактів автомата - 0,8 мОм; опір самого автомата 0,3 мОм; перехідний опір в місцях приєднання шин та в місці КЗ – 15 мОм.

Результуючий опір кола КЗ у точці К-3:

$$r = r_m + r_{ш} + r' = 0,002 + 0,0003 + 0,015 = 0,0173 \text{ Ом}$$

$$x = x_m + x_{ш} + x' = 0,009 + 0,000895 + 0,0008 = 0,011 \text{ Ом}$$

$$Z = \sqrt{r^2 + x^2} = \sqrt{0,0173^2 + 0,011^2} = 0,021 \text{ Ом}$$

Струм КЗ у точці К-3:

$$I_{K33} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot Z} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,021} = 10997 \text{ А}$$

Ударний струм:

$$i_{y\partial 3} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{k3}$$

де k_y – ударний коефіцієнт, становить $k_y = 1,3$, тоді

$$i_{y\partial 3} = \sqrt{2} \cdot 1,3 \cdot 10997 = 20218 \text{ A}$$

Потужність КЗ знаходиться за формулою:

$$S_{kз3} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_{k3} = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 10997 = 7,6 \text{ MVA}$$

Дані розрахунків заносимо у таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Струми короткого замикання

Точка КЗ	U_n , кВ	$I_{kз}$, кА	$i_{y\partial}$, кА	$S_{kз}$, MVA
К-1	10,0	19,0	48,0	329,0
К-2	10,0	16.6	42,0	287.5
К-3	0.4	10.997	20.218	7.6

Інші розрахунки приведені в Додатках Б-Е.

3.2 Висновки до Розділу 3

Виконано розрахунок струмів короткого замикання для характерних точок електричної мережі (К-1, К-2, К-3) на основі складеної розрахункової схеми та відповідної схеми заміщення. Визначено відносні опори всіх елементів системи електропостачання, включаючи лінії, трансформатор та елементи розподільчого пристрою, з приведенням до базисних умов. У результаті отримано значення періодичних, ударних струмів короткого замикання та потужностей КЗ, що дозволило оцінити електродинамічні та термічні навантаження на обладнання. Проведені розрахунки підтверджують правильність вибору основного електрообладнання та апаратів захисту, які забезпечують надійну та безпечну роботу системи електропостачання як у нормальних, так і в аварійних режимах.

У результаті виконаного вибору та перевірки електрообладнання комплектної трансформаторної підстанції встановлено, що всі елементи

(вакуумний вимикач, трансформатори струму і напруги, запобіжники, роз'єднувачі та інше обладнання) відповідають умовам роботи в нормальному, перевантажувальному та аварійному режимах. Перевірки показали, що обладнання задовольняє вимоги по номінальній напрузі та струму, має достатню відключаючу здатність, а також забезпечує необхідну термічну та електродинамічну стійкість до дії струмів короткого замикання. Крім того, вимірювальні трансформатори працюють у заданому класі точності, а обрані перерізи з'єднувальних проводів відповідають як електричним, так і механічним вимогам. Таким чином, прийняті технічні рішення гарантують надійну, безпечну та ефективну експлуатацію КТП.

Встановлено, що вибір перерізу живильного кабелю лише за економічною густиною струму є недостатнім, оскільки визначальним фактором є умова термічної стійкості при короткому замиканні. Попередньо обраний кабель перерізом 50 мм² задовольняє умову по нагріву в нормальному режимі, однак не витримує теплового імпульсу струмів КЗ. Проведена перевірка показала необхідність збільшення перерізу до 240 мм². Таким чином, остаточно прийнятий кабель марки ААБ-10-3×240 забезпечує надійну роботу мережі як у нормальних, так і в аварійних режимах, відповідає вимогам ПУЕ та гарантує необхідний рівень безпеки експлуатації.

У результаті виконаного розрахунку та вибору релейного захисту силового трансформатора встановлено, що прийнятий комплекс захистів (максимальна струмова відсічка, максимальний струмовий захист з витримкою часу, захист від перевантажень та захист від замикань на землю) повністю забезпечує виявлення та селективне відключення всіх можливих аварійних і ненормальних режимів роботи. Обрані уставки та типи реле відповідають умовам чутливості, надійності та селективності, що підтверджено розрахунками коефіцієнтів чутливості. Таким чином, система релейного захисту гарантує своєчасне реагування на пошкодження, запобігає розвитку аварій та забезпечує надійну і безпечну експлуатацію силового трансформатора.

У результаті розробки схеми керування, релейного захисту, сигналізації та автоматики встановлено, що прийнята система на базі постійного оперативного струму забезпечує високу надійність і безперебійність роботи пристроїв РП-10 кВ навіть при аварійних режимах у мережі. Запропонована схема гарантує ефективне дистанційне керування вимикачем, своєчасне спрацювання релейного захисту при коротких замиканнях та інших пошкодженнях, а також наявність повної системи сигналізації для контролю стану обладнання. Таким чином, розроблене рішення відповідає вимогам надійності, безпеки та оперативності керування електроустановкою.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Вимоги до організації безпечної експлуатації електроустановок у сільській місцевості

Вимоги до організації безпечної експлуатації електроустановок у сільській місцевості базуються на чинних нормативних документах і спрямовані на запобігання ураженню електричним струмом, аваріям та пожежам. Основні з них такі:

По-перше, експлуатація електроустановок повинна здійснюватися лише підготовленим персоналом, який має відповідну групу з електробезпеки, пройшов навчання, інструктажі та перевірку знань. Працівники повинні чітко знати правила технічної експлуатації та безпечного виконання робіт.

По-друге, необхідно забезпечити справний технічний стан електрообладнання. Регулярно проводяться огляди, технічне обслуговування, вимірювання опору ізоляції, перевірка захисних пристроїв, заземлення та занулення. Особливо це важливо для сільської місцевості, де обладнання часто піддається впливу вологи, пилу та температурних коливань.

Обов'язковим є виконання організаційних заходів безпеки: оформлення нарядів-допусків на роботи в електроустановках, призначення відповідальних осіб, використання попереджувальних плакатів і знаків безпеки, а також контроль за виконанням робіт.

Важливою вимогою є застосування засобів індивідуального та колективного захисту: діелектричних рукавичок, взуття, інструменту з ізольованими ручками, переносних заземлень, огорожень. Усі засоби захисту повинні бути справними та періодично перевірятися.

Необхідно забезпечити надійний захист від ураження електричним струмом, що включає використання заземлення, занулення, автоматичних вимикачів, пристроїв захисного відключення (ПЗВ), а також захист від коротких замикань і перевантажень.

Особливу увагу слід приділяти експлуатації повітряних ліній електропередач, які широко застосовуються у сільській місцевості. Потрібно дотримуватися безпечних відстаней до проводів, регулярно перевіряти стан опор, ізоляторів та проводів, а також запобігати їх пошкодженню внаслідок погодних умов чи діяльності людини.

Умови праці повинні відповідати вимогам безпеки: роботи заборонено виконувати під час грози, сильного вітру, ожеледі чи інших небезпечних погодних явищ без спеціальних заходів захисту.

Також необхідно передбачити заходи пожежної безпеки: наявність первинних засобів пожежогасіння, справність електропроводки, недопущення перевантаження мереж.

Окремо слід враховувати безпеку населення: електроустановки повинні бути недоступними для сторонніх осіб, трансформаторні підстанції — огороженими, а небезпечні зони — позначеними попереджувальними знаками.

4.2 Засоби індивідуального та колективного захисту під час обслуговування електромереж

Під час обслуговування електромереж для забезпечення безпеки персоналу застосовують комплекс засобів індивідуального та колективного захисту, які запобігають ураженню електричним струмом, дії електричної дуги, механічним травмам та впливу навколишнього середовища.

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ). Ці засоби використовуються безпосередньо працівником і забезпечують його особисту безпеку:

- Діелектричні рукавички – захищають руки від ураження електричним струмом при роботі під напругою або поблизу струмоведучих частин.
- Діелектричне взуття (боти, калоші) – ізолює працівника від землі, зменшуючи ризик проходження струму через тіло.
- Діелектричні килимки та підставки – використовуються при роботі в

розподільчих установках.

- Ізолюючий інструмент (викрутки, кліщі, штанги) – має спеціальне покриття, що запобігає проходженню струму.
- Захисні каски – захищають від механічних ушкоджень та дії електричної дуги.
- Захисні окуляри або щитки – оберігають очі від іскор, дуги, пилу.
- Спецодяг (вогнестійкий, антистатичний) – захищає від термічного впливу електричної дуги та загоряння.
- Запобіжні пояси та страхувальні системи – застосовуються при роботах на висоті (опори ЛЕП).

Засоби колективного захисту. Ці засоби забезпечують безпеку групи працівників або сторонніх осіб:

- Захисне заземлення та занулення – знижують напругу дотику до безпечного рівня.
- Автоматичні вимикачі, запобіжники, ПЗВ – забезпечують швидке відключення мережі при аварійних режимах.
- Огородження та ізоляція струмоведучих частин – запобігають випадковому доступу до небезпечних елементів.
- Попереджувальні знаки та плакати безпеки – інформують про наявність небезпеки.
- Переносні заземлення – встановлюються на відключених ділянках мережі для захисту від помилкової подачі напруги.
- Блокувальні пристрої та замки – унеможливають несанкціоноване вмикання обладнання.
- Сигналізація та індикатори напруги – дозволяють контролювати наявність напруги.

4.3 Правила надання першої допомоги при ураженні електричним струмом

Правила надання першої допомоги при ураженні електричним струмом спрямовані на швидке припинення дії струму, оцінку стану постраждалого та підтримання життєво важливих функцій до прибуття медиків.

Перш за все необхідно негайно припинити дію електричного струму. Для цього слід вимкнути електроживлення (рубильник, автоматичний вимикач, витягнути вилку з розетки). Якщо це неможливо, потрібно відтягнути потерпілого від джерела струму, використовуючи сухі ізолюючі предмети (дерев'яну палицю, сухий одяг, гумові вироби), при цьому не торкаючись відкритих частин тіла руками без захисту.

Після звільнення постраждалого необхідно оцінити його стан: перевірити свідомість, дихання та пульс. Якщо людина при свідомості — її потрібно заспокоїти, укласти у зручне положення, забезпечити доступ свіжого повітря та викликати швидку допомогу.

Якщо потерпілий без свідомості, але дихає, його слід покласти у стабільне бокове положення, контролювати дихання та пульс до прибуття лікарів.

У разі відсутності дихання або пульсу необхідно негайно розпочати серцево-легеневу реанімацію: виконувати непрямий масаж серця та штучне дихання (співвідношення 30 натискань на грудну клітку до 2 вдихів). Реанімаційні заходи проводяться безперервно до відновлення життєвих функцій або прибуття медичних працівників.

При наявності опіків місця ураження слід обережно закрити стерильною пов'язкою, не застосовуючи мазей чи рідин. Забороняється проколювати пухирі або відривати прилиплий одяг.

Важливо також забезпечити тепло та спокій постраждалому, не дозволяти йому вставати або рухатися без потреби, навіть якщо він почувається задовільно, оскільки наслідки ураження струмом можуть проявитися пізніше.

Обов'язковим є виклик швидкої медичної допомоги, навіть якщо стан

потерпілого здається стабільним.

4.4 Вимоги до евакуації персоналу та населення у разі надзвичайних ситуацій.

Вимоги до евакуації персоналу та населення у разі надзвичайних ситуацій (пожежа, аварія в електромережах) спрямовані на швидке, організоване та безпечне виведення людей із небезпечної зони та мінімізацію ризиків для життя і здоров'я.

Насамперед на об'єктах електропостачання повинні бути розроблені та затверджені плани евакуації, які містять схеми виходів, напрямки руху, місця збору людей та порядок дій у разі виникнення небезпеки. Ці плани розміщуються на видимих місцях і повинні бути зрозумілими для всіх працівників.

Важливою вимогою є наявність та справність евакуаційних виходів, які мають бути вільними, не захаращеними, позначеними світловими покажчиками та забезпеченими аварійним освітленням. Двері евакуаційних виходів повинні відкриватися у напрямку виходу з приміщення.

Повинна бути організована система оповіщення про небезпеку (сигналізація, гучномовці), яка забезпечує своєчасне інформування людей про необхідність евакуації.

Персонал зобов'язаний проходити інструктажі та навчання з евакуації, включаючи практичні тренування. Це дозволяє діяти швидко та без паніки в реальних умовах надзвичайної ситуації.

Під час евакуації необхідно дотримуватися таких правил: рухатися організовано, без паніки, не користуватися ліфтами, допомагати людям з обмеженими можливостями, дітям та особам похилого віку, не повертатися у небезпечну зону без дозволу відповідальних осіб.

У випадку пожежі або аварії в електромережі додатково необхідно, за можливості, знеструмити обладнання, уникати контакту з пошкодженими

проводами та електроустановками.

Після евакуації всі особи повинні зібратися у визначених безпечних місцях для перевірки наявності людей та отримання подальших вказівок.

Також обов'язковим є забезпечення об'єктів первинними засобами пожежогасіння (вогнегасники, пожежні щити) та вільного доступу до них.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

На основі аналізу структури споживання електроенергії обґрунтовано вибір кільцевої схеми електропостачання з двостороннім живленням та застосуванням двотрансформаторної підстанції, що підвищує надійність електропостачання та забезпечує безперервність роботи споживачів у разі аварійних режимів.

У результаті розрахунку електричних навантажень визначено значення розрахункових потужностей для денного та вечірнього максимумів. Встановлено, що сумарне навантаження житлового масиву з урахуванням вуличного освітлення формує основу для вибору силового обладнання підстанції.

Проведено техніко-економічне порівняння варіантів встановлення силових трансформаторів. Враховуючи вимоги до надійності електропостачання, остаточно прийнято варіант із двома трансформаторами, який забезпечує допустимий рівень завантаження, можливість роботи при аварійному відключенні одного трансформатора та відповідність нормативним вимогам.

Виконано розрахунок і вибір розподільчих електромереж. Обґрунтовано застосування самонесучих ізольованих проводів типу СПП для повітряних ліній та кабельних ліній із відповідним перерізом жил для підземної прокладки. Перевірено допустимі струмові навантаження, умови нагріву та вибрано апарати захисту, які забезпечують надійну та безпечну експлуатацію мережі.

Виконано розрахунок струмів короткого замикання для характерних точок електричної мережі (К-1, К-2, К-3) на основі складеної розрахункової схеми та відповідної схеми заміщення. Визначено відносні опори всіх елементів системи електропостачання, включаючи лінії, трансформатор та елементи розподільчого пристрою, з приведенням до базисних умов. У результаті отримано значення періодичних, ударних струмів короткого замикання та потужностей КЗ, що дозволило оцінити електродинамічні та термічні навантаження на обладнання. Проведені розрахунки підтверджують правильність вибору основного

електрообладнання та апаратів захисту, які забезпечують надійну та безпечну роботу системи електропостачання як у нормальних, так і в аварійних режимах.

У результаті виконаного вибору та перевірки електрообладнання комплектної трансформаторної підстанції встановлено, що всі елементи (вакуумний вимикач, трансформатори струму і напруги, запобіжники, роз'єднувачі та інше обладнання) відповідають умовам роботи в нормальному, перевантажувальному та аварійному режимах. Перевірки показали, що обладнання задовольняє вимоги по номінальній напрузі та струму, має достатню відключаючу здатність, а також забезпечує необхідну термічну та електродинамічну стійкість до дії струмів короткого замикання. Крім того, вимірювальні трансформатори працюють у заданому класі точності, а обрані перерізи з'єднувальних проводів відповідають як електричним, так і механічним вимогам. Таким чином, прийняті технічні рішення гарантують надійну, безпечну та ефективну експлуатацію КТП.

Встановлено, що вибір перерізу живильного кабелю лише за економічною густиною струму є недостатнім, оскільки визначальним фактором є умова термічної стійкості при короткому замиканні. Попередньо обраний кабель перерізом 50 мм² задовольняє умову по нагріву в нормальному режимі, однак не витримує теплового імпульсу струмів КЗ. Проведена перевірка показала необхідність збільшення перерізу до 240 мм². Таким чином, остаточно прийнятий кабель марки ААБ-10-3×240 забезпечує надійну роботу мережі як у нормальних, так і в аварійних режимах, відповідає вимогам ПУЕ та гарантує необхідний рівень безпеки експлуатації.

У результаті виконаного розрахунку та вибору релейного захисту силового трансформатора встановлено, що прийнятий комплекс захистів (максимальна струмова відсічка, максимальний струмовий захист з витримкою часу, захист від перевантажень та захист від замикань на землю) повністю забезпечує виявлення та селективне відключення всіх можливих аварійних і ненормальних режимів роботи. Обрані уставки та типи реле відповідають умовам чутливості, надійності та селективності, що підтверджено розрахунками коефіцієнтів чутливості. Таким

чином, система релейного захисту гарантує своєчасне реагування на пошкодження, запобігає розвитку аварій та забезпечує надійну і безпечну експлуатацію силового трансформатора.

У результаті розробки схеми керування, релейного захисту, сигналізації та автоматики встановлено, що прийнята система на базі постійного оперативного струму забезпечує високу надійність і безперебійність роботи пристроїв РП-10 кВ навіть при аварійних режимах у мережі. Запропонована схема гарантує ефективне дистанційне керування вимикачем, своєчасне спрацювання релейного захисту при коротких замиканнях та інших пошкодженнях, а також наявність повної системи сигналізації для контролю стану обладнання. Таким чином, розроблене рішення відповідає вимогам надійності, безпеки та оперативності керування електроустановкою.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Офіційний сайт. *Офіційний сайт | АТ Хмельницькобленерго*. URL: <https://hoe.com.ua/> (дата звернення: 05.05.2026).
2. Правила улаштування електроустановок. / Міненерго вугілля України,. - К., 2017.
3. Сисак І.М. Електропостачання промислових і муніципальних об'єктів [електронний ресурс]: //Інституційний репозитарій Atutor (код дисципліни ID 1748): офіційний сайт Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя – Тернопіль, 2011. – Режим доступу: <https://dl.tntu.edu.ua/index.php>.
4. Бурбело, М. Й. Системи електропостачання. Елементи теорії та приклади розрахунків : навчальний посібник / М. Й. Бурбело, О. О. Бірюков, Л. М. Мельничук – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 204 с. ISBN 978-966-641-450-5
5. Маліновський А.А., Хохулін Б.К. Основи електроенергетики та електропостачання: Підручник. – 2-ге вид., перероб. і доп. - Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2009. – 436 с. ISBN 978-966-553-833-2
6. Сисак І.М. Електричні системи та мережі [електронний ресурс]: //Інституційний репозитарій Atutor (код дисципліни ID 1747): офіційний сайт Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя – Тернопіль, 2011.
7. Романюк Ю.Ф. Електричні системи та мережі: Навч. посіб. – К.: Знання, 2007. – 292 с. – (Вища освіта ХХІ століття).
8. <https://samelectryk.in.ua/електропостачання/електричні-сітки/891-які-бувають-категорії-надійності-електропостачання-по-пуе.html>
9. Розрахунок електричного навантажень / Іван Михайлович Сисак, О. Й. Іваніга, С. В. Любка, Ю. І. Джуган // Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 6-7 грудня 2023 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2023.

— С. 242. — (Електротехніка та енергозбереження).

10. Купчик, В. О., Сердюк, Т. Т., Головачук, Г. І., Волосинецький, Р. Б., Мовчан, Л. Т., & Сисак, І. М. (2022). Підвищення надійності та пропускну здатності трансформаторних підстанцій. *Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“*, 80-81.

11. Бацюра, Є. В., Шинькар, Р. І., Ухін, А. Р., Костецький, П. Б., Осадчук, С. В., & Сисак, І. М. (2021). Забезпечення надійності системи електропостачання промислових об'єктів. *Збірник тез доповідей X Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“*, 9-10.

12. Ткач, М. В., Сисак, І. М., Миколишин, В. В., & Сердюк, Т. Т. (2017). Підвищення надійності системи електропостачання промислових підприємств. *Збірник тез доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“*, 3, 125-125.

13. Романишен, О. В., Клименко, Д. Р., & Сисак, І. М. (2020). Підвищення надійності системи електропостачання. *Збірник тез доповідей IX Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“*, 2, 128-128.

14. Бабанін, Н. В., Сисак, І. М., Гапонюк, А. В., & Максимчук, О. М. (2017). Вибір трансформаторів підстанцій за навантажувальною здатністю. *Збірник тез доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“*, 3, 89-89.

15. Буняк, О., Стасів, А., Оробчук, Б., & Судомир, В. (2025). Розробка програмного модуля для розрахунку порівняльних характеристик трансформаторів з врахуванням умови економічності. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, 357(5.2), 115-122. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-357-73>

16. Стасів А.З., Судомир В.П., Миколишин В.В., Сисак І.М., Буняк О.А. Комплекс програмних модулів для проектування електропостачання промислових та муніципальних об'єктів // IX International Scientific and Practical Conference «EDUCATION AND SCIENCE OF TODAY: INTERSECTORAL ISSUES AND DEVELOPMENT OF SCIENCES», Cambridge, 28 November 2025. – Cambridge : «P.C. Publishing House» «UKRLOGOS Group», 2025. – С. 150–157. – ISBN 978-1-8380558-4-4. – DOI 10.36074/logos-28.11.2025.028

17. Стасів А., Судомир В., Сисак І., Оробчук Б. Розробка програмного модуля для розрахунку центру електричних навантажень енергетичного об'єкту // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences. – 2025. – № 361(6). – Грудень.

18. Макарчук, Г. О., Чміль, І. В., Стасів, А. З., & Сисак, І. М. (2025). Розрахунок центру електричних навантажень у сучасних умовах. *Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції „Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій “, присвячена 180-річчю з дня народження Івана Пулюя та 65-річчю з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, 44-45.*

19. Сегада М.С. Електричні мережі та системи: Підручник. – 2-ге вид. – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2009. – 488 с.

20. Белякова І.В. Основи релейного захисту та автоматизації енергосистем [електронний ресурс]: //Інституційний репозитарій Atutor (код дисципліни ID 176): офіційний сайт Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя – Тернопіль, 2011.

21. Гурик О.Я. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці [електронний ресурс]: //Інституційний репозитарій Atutor (код дисципліни ID 4656): офіційний сайт Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя – Тернопіль, 2017. – Режим доступу: <https://dl.tntu.edu.ua/index.php>.

22. Тарасенко М.Г., Коваль В.П., Буняк О.А., Мовчан Л.Т. Методичні

вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого рівня вищої освіти за ОПП Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/ В.П. Коваль, М.Г. Тарасенко, О.А. Буняк, Л.Т. Мовчан – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 50 с.

ДОДАТКИ

Основні параметри КТП

Таблиця А.1 – Паспортні дані КТП

Найменування параметра	Розрахункові дані	Дані 2КТП-1000
1.Потужність силового трансформатора (кВА):	1049	1000
2.Номінальна напруга на стороні високої напруги (кВ):	10	10
3.Номінальна напруга на стороні низької напруги (кВ):	0,4	0,4
4.Частота змінного струму (Гц):	50	50
5.Номінальний струм збірних шин(кА):		
УВН	0,1	0,4
РУНН	1,443	1,445
6.Струм електродинамічної стійкості (кА):		
УВН	42	51
РУНН	20,218	50
7.Струм термічної стійкості за 1с (кА ² с):		
УВН	309	400
РУНН	135	625

КТП складається із:

- УВН, що містить шафу з вимикачем навантаження і запобіжниками типу ШВВ-У1;

- силового трансформатора типу ТМЗ-1000/10/0,4;

РУНН, що складається із:

- шаф вводу низької напруги (ШНВ-1ЛУ1; ШНВ-1ПУ1), з окремо стоячою релейною шафою;

- секційної шафи (ШНС-1У1)
- шаф відхідних ліній (ШНЛ-7У1).

Схема КТП приведена в графічній частині.

УВН типу ШВВ – У1 представляє собою металеву шафу в якій встановлено вимикач навантаження типу ВН із вбудованими запобіжниками. Після запобіжників розміщуються стаціонарні заземлюючі ножі. Приєднання джерела живлення здійснюється із сторони нерухомих контактів вимикача навантаження від двох високовольтних кабелів перерізом до $3 \times 150 \text{ мм}^2$ через індивідуальні шинні накладки. Обслуговування ШВВ-У1 здійснюється з фасаду, для чого є двоє дверей, що закриваються на замки.

РУНН представляє собою набір шаф з установленими в них апаратами, вимірювальними і захисними приладами, допоміжними пристроями, ошиновкою і проводами.

Відхідні лінії споживачів підключаються до шаф РУНН з низу.

Шафи розділені на комірки, в яких розміщені автоматичні вимикачі і апаратура:

- комірка релейного відсіку
- комірка ввідного (секційного) вимикача;
- комірка відхідних ліній.

Релейна шафа призначена для встановлення лічильників активної і реактивної електричної енергії, а також, для розміщення апаратури шафи ШНВ. Релейна шафа розміщується в одному ряду (на загальній рамі) із шафами РУНН і з'єднана з шафою ШНВ із сторони силового трансформатора.

На вводі РУНН, після ввідного вимикача, встановлено три трансформатори струму для вимірювання і обліку витрат електричної енергії.

Заземлення апаратів, які встановлені у шафах РУНН, виконано заземлюючим провідником. В якості силової захисно-комунікаційної апаратури РУНН застосовуються автоматичні вимикачі:

На вводі – вимикачі типу ВА;

На відхідних лініях – вимикачі типу ВА.

Вибір електрообладнання КТП та перевірка на стійкість до дії струмів КЗ

Електричне обладнання в умовах експлуатації, працює в трьох основних режимах: в тривалому режимі, в режимі перевантаження, в режимі КЗ.

В тривалому режимі надійна робота електричного обладнання забезпечується правильним вибором його по номінальному струму і напрузі, виходячи з умов:

$$I_p \leq I_{н.а.}; U_{н.м.} \leq U_{н.а.}$$

В режимі перевантаження надійна робота електричного обладнання забезпечується обмеженням величини та тривалості підвищення напруги або струму в таких межах, при яких гарантується нормальна робота електричних установок за рахунок запасу міцності.

В режимі КЗ надійна робота електричного обладнання забезпечується відповідністю вибраних параметрів пристроїв по умовам термічної та електродинамічної стійкості, відповідно до умов:

$$B_k \leq I_{н.т.у.}^2 \cdot t_{н.т.у.}$$

$$i_{н.дин} \geq i_{уд.р.}$$

Визначаємо розрахунковий струм підстанції:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$

де S_p – розрахункова потужність підстанції, кВА;

$$S_p = 1000 \text{ кВА}$$

U_n – напруга високої сторони трансформатора:

$$U_n = 10 \text{ кВ}$$

$$I_p = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 58 \text{ А}$$

Визначаємо тепловий імпульс КЗ в точці К-2:

$$B_k = I_{н.о.}^2 \cdot (t_{відкл} + T_d)$$

де $I_{н.о.}$ – зверхперехідний струм КЗ:

$$I_{н.о.} = I_{кз2} = 16,6 \text{ кА}$$

$t_{відкл}$ – час протікання струму КЗ:

$$t_{відкл} = t_3 + t_{o.в.},$$

де t_3 – час спрацювання максимального струмового захисту:

$$t_3 = (0,5 \div 1) \text{ с};$$

приймаємо $t_3 = 1 \text{ с}$

$t_{o.в.}$ – час відключення масляного вимикача, що встановлений на підстанції підприємства;

$$t_{o.в.} = 0,11 \text{ с.}$$

T_a – постійна часу затухання аперіодичної складової струму КЗ;

для мережі 10 кВ $T_a = 0,01 \text{ с}$, тоді:

$$B_k = 16,6^2 \cdot [(1 + 0,11) + 0,01] = 309 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Далі вибір і перевірку апаратів проводимо в табличній формі, дані заносимо в таблицю Б.1

Таблиця Б.1 – вибір електрообладнання КТП

Умови вибору	Розрахункові дані	Табличні дані		
		вимикач вакуумний ВВТЕ-10-20/630ХЛ2	Трансформатор струму ТПК-10	Трансформатор напруги НОЛ-08-10УТ2
1. вибір по напрузі: $U_{уст} \leq U_{н.а.}$	10 кВ	10 кВ	10 кВ	10 кВ
2. вибір по номінальному струму: $I_p \leq I_{н.а.}$	58 А	630 А	75 А	-
3. перевірка на динамічну стійкість: $i_{уд.р} \leq i_{пр.екв}$	42 кА	52 кА	52 кА	-
4. перевірка на термічну стійкість: $B_k \leq I_{н.т.}^2 \cdot t_{н.т.}$	309 кА ² · с	20 ² · 3 = 1200 кА ² · с	20 ² · 1 = 400 кА ² · с	-
5. вибір по відключаючій здатності: $I_{н.о.} \leq I_{н.відкл}$	16,6 кА	20 кА	-	-
6. тип приводу	-	ПЕ-11	-	-

Вакуумний вимикач типу ВВТЕ-10-20/630ХЛ2 задовольняє умови вибору та перевірки і може бути прийнятий до установки.

Здійснюємо перевірку по класу точності трансформатора струму типу ТПК-10. Робота трансформатора повинна забезпечуватись в класі точності 0,5.

Приводимо схему підключення обмоток приладів до вторинних обмоток трансформатора струму (рис.Б.1):

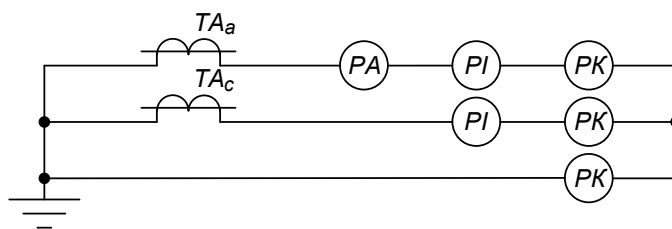


Рис.Б.1 - Схема підключення приладів до трансформатора струму

Складаємо таблицю навантажень на вторинній обмотці трансформаторів струму (таблиця Б.2):

Таблиця Б.2 – Навантаження вторинної обмотки трансформаторів струму

Назва приладу	Тип	Навантаження, ВА		
		Фаза А	Фаза В	Фаза С
Амперметр	Е-335	0,5	-	-
Лічильник активної енергії	І-680	2,5	-	2,5
Лічильник реактивної енергії	І-676	2,5	2,5	2,5
Всього		5,5	2,5	5,0

Подальший розрахунок проводиться по найбільш завантаженій фазі – фазі А.

Визначаємо загальний опір обмоток приладів:

$$R_{\text{прил}} = \frac{S_{\text{прил}}}{I_{2\text{н}}^2}$$

$S_{\text{прил}}$ – сумарне навантаження фази А по таблиці Б.2, кВА;

$$S_{\text{прил}} = 5,5 \text{ кВА}$$

$I_{2\text{н}}$ – вторинний номінальний струм трансформатора струму, А;

$$I_{2\text{н}} = 5 \text{ А, тоді}$$

$$R_{\text{прил}} = \frac{5,5}{5^2} = 0,22 \text{ Ом}$$

По технічним даним трансформатора, його вторинне номінальне навантаження в класі точності 0,5 складає $S_{2\text{н}} = 10 \text{ ВА}$, а розрахункове навантаження вторинної обмотки $S_p = 5,5 \text{ ВА}$, для забезпечення роботи трансформатора струму в потрібному класі точності 0,5 повинна виконуватись умова:

$$S_{2\text{н}} \geq S_p$$

$$S_{2\text{н}} = 10 \text{ ВА} > S_p = 5,5 \text{ ВА} \text{ – умова виконується.}$$

Визначаємо повний допустимий опір зовнішнього кола:

$$Z_{2\text{н}} = \frac{S_{2\text{н}}}{I_{2\text{н}}^2} = \frac{10}{5^2} = 0,4 \text{ Ом}$$

Визначаємо допустимий опір з'єднувальних проводів:

$$R_{\text{пров}} = Z_{2\text{н}} - R_{\text{прил}} - R_{\text{к}}$$

де $R_{\text{к}}$ – опір контактів, Ом; приймаємо $R_{\text{к}} = 0,1 \text{ Ом}$, тоді

$$R_{\text{пров}} = 0,4 - 0,22 - 0,1 = 0,08 \text{ Ом}$$

Визначаємо переріз з'єднувальних проводів:

$$S_{\text{пров}} = \frac{\rho \cdot l_p}{R_{\text{пров}}}$$

де ρ – питомий опір проводу; для алюмінію $\rho = 0,0283 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$.

l_p – розрахункова довжина з'єднувальних проводів; при схемі “неповна зірка”

$$l_p = 1,5l, \text{ де}$$

l – довжина проводу, що з'єднує трансформатор струму і прилад; приймаємо $l = 4,5$ м, тоді $l_p = 1,5 \cdot 4,5 = 6,75 \approx 7$ м, отже:

$$S_{\text{пров}} = \frac{0,0283 \cdot 7}{0,08} = 2,48 \text{ мм}^2$$

По умовам механічної міцності мінімальний переріз алюмінієвих проводів у вторинному колі трансформатора струму повинен бути не менше $2,5 \text{ мм}^2$. На основі проведеного розрахунку приймаємо переріз алюмінієвих проводів $2,5 \text{ мм}^2$ і записуємо марку проводу АПВ – 4 (1×2,5). Остаточо до встановлення приймаємо трансформатор струму типу ТПК-10.

В мережах напругою 10 КВ, необхідно здійснювати контроль за станом ізоляції. Для цієї мети встановлюються трансформатори напруги. Таким чином, на даній 2КТП-1000 встановлюється чотири однофазних трансформатора напруги, що з'єднані в неповну зірку.

Відповідність класу точності перевіряється шляхом співставлення номінальної потужності вторинного кола з фактичним навантаженням від підключених приладів, виходячи з умови:

$$S_{2н.а.} \geq S_p$$

Складаємо таблицю навантажень вторинних кіл трансформатора напруги (таблиця Б.3):

Таблиця Б.3 – Навантаження вторинної обмотки трансформатора напруги

Назва приладу	Тип	Повна потужність приладу, ВА	Кількість приладів
Вольтметр	Е-377	4,7	1
Лічильник активної енергії	І-680	1,75	2
Лічильник реактивної енергії	І-676	1,73	3
Реле напруги	РЕВ-84	1,0	3
Всього		16,89 ВА	

Визначаємо номінальну потужність вторинного кола трансформатора напруги в класі точності 0,5, вона складає $S_{2н.а.} = 75$ ВА

Відповідність класу точності перевіряємо виходячи з умови:

$$S_{2н.а.} \geq S_p$$

для двох трансформаторів: $2S_{2н.а.} \geq S_p$, тоді

$$2S_{2н.а.} = 2 \cdot 75 = 150 \text{ ВА} > S_p = 16,89 \text{ ВА} - \text{умова виконуються.}$$

Таким чином, до встановлення приймаємо чотири трансформатори напруги типу НОЛ-08-10УТ2.

Від струмів КЗ трансформатор захищається струмообмежуючим запобіжником типу ПКТ103-10-20У3; виписуємо технічні дані запобіжника: $U_{н.а.} = 10$ кВ; $I_{н.а.} = 80$ А; $I_{н.відкл} = 20$ кА. Перевіримо вибраний запобіжник по умовам:

$$U_{н.а.} \geq U_{н.м.} - U_{н.а.} = 10 \text{ кВ} = U_{н.м} = 10 \text{ кВ}$$

$$I_{н.а.} \geq I_p - I_{н.а.} = 80 \text{ А} > I_p = 58 \text{ А}$$

$$I_{н.відкл} \geq I_{н.о.} - I_{н.відкл} = 20 \text{ кА} > I_{н.о.} = 16,6 \text{ кА}$$

умови вибору виконуються

Також, необхідно вибрати вимикач навантаження, роз'єднувачі, розрядники. Вибір проводимо табличним методом дані заносимо в таблицю Б.4.

Таблиця Б.4 – Вибір електрообладнання КТП

Умови вибору	Розрахункові дані	Табличні дані		
		ВН-11УЗ	РВЗ-10/630	РВО-10У1
1. вибір по напрузі: $U_{уст} \leq U_{н.а.}$	10 кВ	10 кВ	10 кВ	10 кВ
2. вибір по номінальному струму: $I_p \leq I_{н.а.}$	58 А	400 А	630 А	-
3. перевірка на динамічну стійкість: $i_{уд.р} \leq i_{пр.екв}$	42 кА	80 кА	52 кА	-
4. перевірка на термічну стійкість: $B_k \leq I_{н.т.}^2 \cdot t_{н.т.}$	309 кА ² ·с	31,5 ² · 1 = 992 кА ² ·с	20 ² · 4 = 1600 кА ² ·с	-
5. вибір по відключаючій здатності: $I_{н.о.} \leq I_{н.відкл}$	16,6 кА	-	-	-
6. тип приводу	-	-	ПР-10	-

Розрахунок та вибір електричної мережі живлення

Згідно правил улаштування електричних установок переріз кабелів вибирається по: нагріву, економічній густині струму та перевіряється по втраті напруги.

Вибір перерізу кабелів напругою вище 1 кВ здійснюється по економічній густині струму [3]:

$$S_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}}$$

де I_p – розрахунковий струм установки (ПС);

$$I_p = 58 \text{ А}$$

$j_{ек}$ – економічна густина струму; для кабелів з алюмінієвими жилами,

$$j_{ек} = 1,4 \text{ А/мм}^2, \text{ тоді:}$$

$$S_{ек} = \frac{58}{1,4} = 41 \text{ мм}^2$$

Приймаємо стандартний переріз кабелю 50 мм^2 , тривало-допустимий струм якого складає $I_{дон} = 140 \text{ А}$.

Перевіряємо вибраний кабель по нагріву згідно умови:

$$I_{дон} \geq I_p ; I_{дон} = 140 \text{ А} > I_p = 58 \text{ А} - \text{умова виконується.}$$

Попередньо для вводу приймаємо кабель ААБ-10-3×50

Перевіряємо кабель на термічну стійкість:

- визначаємо тепловий імпульс КЗ [20]:

$$B_k = I_{н.о.}^2 \cdot (t_{відкл} + T_a)$$

де $I_{н.о.}$ – зверхперехідний струм КЗ в точці К-1;

$$I_{н.о.} = 19 \text{ кА}$$

$t_{відкл}$ – час протікання струму КЗ

$$t_{відкл} = t_3 + t_{о.в.}, \text{ де}$$

t_3 – час спрацювання максимального струмового захисту;

$$t_3 = 0,5 \div 1 \text{ с;}$$

приймаємо $t_3 = 1 \text{ с}$

$t_{о.в.}$ – час відключення масляного вимикача;

$$t_{o.v.} = 0,11\text{с}$$

T_a – постійна часу затухання аперіодичної складової струму КЗ, для мережі 10 кВ $T_a = 0,01$ с, отже:

$$B_k = 19^2 \cdot [(1 + 0,11) + 0,01] = 404 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

- визначаємо мінімально допустимий переріз кабелю по умові нагріву струмом КЗ [20]:

$$S_{min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C} \geq S_{ek}$$

де C – термічний коефіцієнт; для кабелів з алюмінієвими жилами з паперовою ізоляцією на 10 кВ $C = 94 \text{ А} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$, тоді:

$$S_{min} = \frac{\sqrt{404}}{94} \cdot 10^3 = 214 \text{ мм}^2$$

Вибираємо стандартний переріз кабелю, що складає 240 мм^2 :

$$S_{min.cm} = 240 \text{ мм}^2 > S_{ek.cm} = 50 \text{ мм}^2$$

Остаточно приймаємо кабель марки ААБ-10-3×240.

Вибір та розрахунок РЗ силового трансформатора

Відповідно до ПУЕ [2], для силових трансформаторів повинні бути передбачені пристрої релейного захисту від таких видів пошкоджень та ненормальних режимів роботи:

- багатофазних замикань в обмотках та на їх виводах;
- однофазних замикань на землю в обмотці та на виводах, що приєднанні до мережі з глухозаземленою нейтраллю;
- виткових замикань в обмотках;
- струмів в обмотках, зумовлених зовнішніми КЗ;
- струмів в обмотках, зумовлених перевантаженнями;
- від зниження рівня масла.

Релейний захист від перерахованих пошкоджень передбачає дію на відключення і сигнал.

Вибираємо тип пристроїв релейного захисту силового трансформатора цехової ТП, що забезпечуватимуть:

- максимальну струмову відсічку без витримки часу;
- максимальний струмовий захист з витримкою часу;
- максимальний струмовий захист від перевантажень;
- захист від замикань на землю.

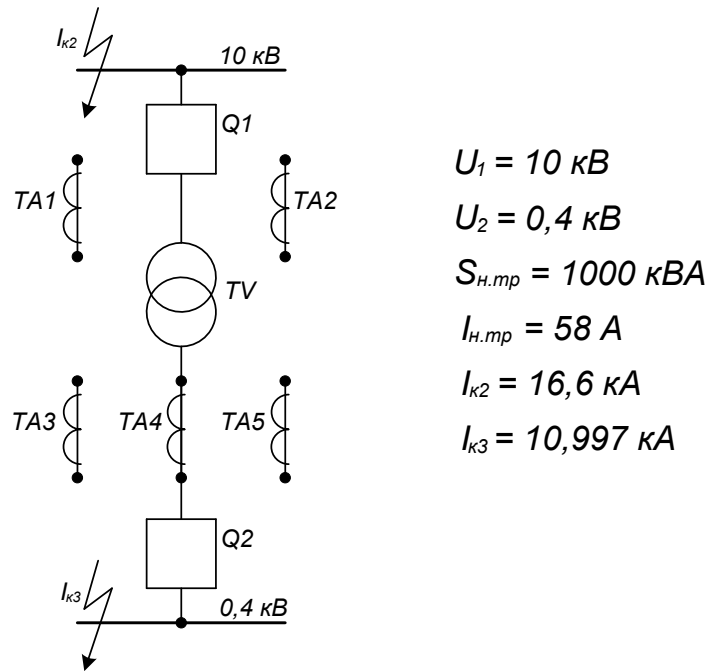


Рисунок Г.1

Максимальна струмова відсічка без витримки часу:

- визначаємо первинний струм спрацювання захисту [20]:

$$I_{c.z.} = k_n \cdot I_{k.max}$$

де $I_{k.max}$ – трьохфазний струм КЗ, що протікає через силовий трансформатор:

$$I_{k.max} = I_{k2} \cdot \frac{U_2}{U_1} = 16600 \cdot \frac{400}{10000} = 664 \text{ A}$$

k_n – коефіцієнт надійності; для реле РТ-40 $k_n = 1,4$, отже:

$$I_{c.z.} = 1,4 \cdot 664 = 930 \text{ A}$$

- визначаємо струм спрацювання реле [20]:

$$I_{c.p.} = \frac{I_{c.z.} \cdot k_{c.x}}{k_{т.с.}}$$

де $k_{c.x.}$ – коефіцієнт схеми; трансформатори струму з'єднані в неповну зірку, тому, $k_{c.x.} = 1$

$k_{т.с.}$ – коефіцієнт трансформації трансформатора струму ТПК-10:

$$k_{т.с.} = \frac{I_{1н}}{I_{2н}} = \frac{75}{5} = 15, \text{ тоді}$$

$$I_{c.p.} = \frac{930 \cdot 1}{15} = 62 \text{ A, отже,}$$

по розрахунковому струму спрацювання реле вибираємо реле струму РТ-40 з

$$I_{c.p.} = 100 \text{ A} - \text{РТ-40/100}$$

- визначаємо коефіцієнт чутливості [20]:

$$k_u = \frac{I_{k.min}}{I_{c.з}} \geq 2$$

де $I_{k.min}$ – трьохфазний струм КЗ на низькій стороні трансформатора:

$$I_{k.min} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{кз} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 10997 = 9524 \text{ А, тоді}$$

$$k_u = \frac{9524}{930} = 10,2 > 2 \text{ – умова виконується.}$$

Максимальний струмовий захист з витримкою часу:

- визначаємо струм спрацювання захисту [20]:

$$I_{c.з.} = \frac{k_n \cdot k_{c.з.}}{k_{п}} \cdot I_p$$

де k_n – коефіцієнт надійності; $k_n = 1,1 \div 1,25$, приймаємо; $k_n = 1,2$.

$k_{c.з.}$ – коефіцієнт самозапуску, що враховує струми навантаження при самозапуску електричних двигунів; $k_{c.з.} = 2 \div 3$, приймаємо $k_{c.з.} = 2,5$

k_n – коефіцієнт повернення; $k_n = 0,8 \div 0,85$, для реле типу РТ- 40 приймаємо, що $k_n = 0,82$

I_p – розрахунковий струм навантаження на високій стороні трансформатора;

$I_p = I_{н.тп} = 58 \text{ А, тоді:}$

$$I_{c.з.} = \frac{1,2 \cdot 2,5}{0,82} \cdot 58 = 212,2 \text{ А}$$

- визначаємо струм спрацювання реле:

$$I_{c.p.} = \frac{I_{c.з.} \cdot k_{сх}}{k_{т.с.}} = \frac{212,2 \cdot 1}{15} = 14 \text{ А, отже,}$$

вибираємо струмове реле типу РТ- 40/20 із $I_{c.p.} = 20 \text{ А}$

- визначаємо коефіцієнт чутливості:

$$k_u = \frac{I_{к.min}}{I_{c.з}} \geq 1,5$$

$$k_u = \frac{9524}{212,2} = 45 > 1,5 \text{ – умова виконується.}$$

Вибираємо реле часу типу ЕВ-215 і уставку $t_{c.з.} = 0,5 \div 1 \text{ с.}$ Захист працює.

Максимальний струмовий захист від перевантажень:

- визначаємо струм спрацювання захисту [20]:

$$I_{c.з.} = \frac{k_n}{k_{п}} \cdot I_{н.тп}$$

де k_n – коефіцієнт надійності; $k_n = 1,05$

k_n – коефіцієнт повернення; $k_n = 0,82$, тоді

$$I_{c.з.} = \frac{1,05}{0,82} \cdot 58 = 74,3 \text{ А}$$

- визначаємо струм спрацювання реле:

$$I_{c.p.} = \frac{I_{c.з.} \cdot k_{сх}}{k_{т.с.}} = \frac{74,3 \cdot 1}{15} = 5 \text{ А}$$

вибираємо струмове реле типу РТ- 40/6 з $I_{c.p.} = 6 \text{ А}$.

Захист від перевантаження працює з витримкою часу 5 – 10 с, з дією на сигнал, через реле часу ЕВ-215.

Захист від замикань на землю:

Захист від замикань на землю, ліній напругою 10 кВ, виконується з дією на сигнал.

Найбільш розповсюдженим захистом для селективного захисту лінії напругою 10 кВ, від однофазних замикань на землю є:

- захист нульової послідовності типу ЗЗП-1;
- захист виконаний на реле РТ-40/0,2;
- пристрій типу УСЗ-2/2; УСЗ-3М; УСЗ3-3.

Остаточно приймаємо захист виконаний на реле типу РТ- 40/0,2 при мінімальному коефіцієнті чутливості, для КЛ $k_{ч} = 1,25$. Струм спрацювання захисту, виконаного на реле РТ40/0,2, з витримкою часу в декілька секунд, складає 8,6 А.

Вибираємо трансформатор струму ТЗЛМ-10, реле РТ-40/0,2 з уставкою на 0,1 А.

Розробка схеми керування захисту, сигналізації і автоматики

Для живлення кіл керування релейного захисту і сигналізації шаф КРУ на РП-10 кВ прийнято систему постійного оперативного струму, що має ряд переваг у порівнянні із системою змінного оперативного струму. В якості джерела оперативного струму приймаємо блоки живлення типу БП. Це пристрої, що під'єднані до трансформаторів струму та трансформаторів власних потреб. Дані блоки дозволяють одержувати випрямлену напругу у випадку короткого замикання або зниження напруги в мережі.

Пристрої БП-10 призначені як джерело оперативного струму в схемах захисту та автоматики з $U_n = 220$ В постійного струму.

Для живлення електромагнітів приводів вимикачів ВВТЕ-10 приймаємо випрямляючі пристрої. На основі цього розробляємо схему керування, релейного захисту і сигналізації шафи КРУ на РП-10 кВ підприємства.

Вона складається з таких вузлів:

- струмові кола релейного захисту;
- кола керування і автоматики вимикача;
- кола сигналізації;
- кола живлення електромагніту вмикання вимикача.

Принцип роботи схеми:

Для подачі живлення на схему керування, необхідно ввімкнути автоматичний вимикач $SF2$, а для живлення електромагніту приводу – $SF1$.

Для дистанційного ввімкнення вимикача $Q1$ ключ керування $SA1$ необхідно повернути в положення “Вкл”. При цьому замкнуться контакти 1-2 ключа і через блок-контакти $Q13$ і $Q11$ живлення отримає контактор $KM1$, який замикає свої контакти в колі електромагніту $YA1$. Електромагнітний привід вмикає вимикач і заводить пружину на відключення. При ввімкненні вимикача $Q1$ розмикаються контакти $Q11$ і контактор $KM1$. Привід вимикача утримується у ввімкненому положенні на спеціальному пристрої електромагніту відключення $YA2$.

Для вимкнення вимикача *Q1* ключ керування *SA1* необхідно повернути в положення “Відкл”. При цьому замкнуться контакти 5-6 ключа і через блок-контакти *Q12* привода отримає живлення електромагніт вимкнення *YA2*. Вимикач *Q1* вимикається. Схема готується до повторного вмикання.

Схемою передбачено вмикання вимикача при роботі релейного захисту:

- струмова відсічка через проміжне реле *KL1*;
- МЗС через реле часу *KT1*.

В схемі передбачено такі види сигналізації:

- світлова – положення вимикача;
- звукова – аварійна і попереджувальна;
- світлова – аварійне вмикання вимикача.

Вибір елементів схеми РЗА

Таблиця Е.1 – Елементи схеми РЗА

Позначення	Найменування			Примітка
КА1; КА2	Реле струму	РТ-40/100	2	
КА3; КА4	Реле струму	РТ-40/20	2	
КА5	Реле струму	РТ-40/6	1	
РА1	Амперметр	Е-378	1	
КТ1	Реле часу	ЕВ-215	1	
KL1	Реле проміжне	РП-23	1	
KL10	Реле проміжне	РП-11	1	
KL11	Реле проміжне	РП-23	1	
КН1 ÷ КН3	Реле сигнальне	РЕУ-11	3	0,025 А
КН4	Реле сигнальне	РЕУ-11	1	0,25 А
SA1	Ключ керування	ПК-У3	1	
SF1	Автоматичний вимикач	АЕ2046	1	
SF2	Автоматичний вимикач	АЕ2026	1	
KM1	Контактор	КТ-6000	1	
YA1	Електромагніт вмикання		1	
YA2	Електромагніт вимикання		1	
Q1	Вакуумний вимикач	ВВТЕ-10	1	
ТА	Трансформатор струму	ТПК-10	2	